This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

UC-NRLF
B 3 813 077

THE LIBRARY
OF
THE UNIVERSITY
OF CALIFORNIA
DAVIS

GIFT OF

KARL FRIEDERICH MEYER

Erdgeschichte.

Erster Band.

Erdgeschichte.

Von

Prof. Dr. Melchior Neumayr.

Zweite Auflage, neubearbeitet von Prof. Dr. Viktor Uhlig.

Erster Band.

Allgemeine Geologie.

Mit 378 Abbildungen im Text, 12 Farbendruck- und 6 Holzschnitt-Tafeln sowie 2 Karten von F. Dotzauer, E. Heyn, O. Peters, K. Poschinger, E. von Ransonnet, A. Swoboda u. a.

Neuer Abdruck.

Leipzig und Wien.
Bibliographisches Institut.
1897.

LIBRARY
UNIVERSITY OF CALIFORNIA
DAVIS

Alle Rechte vom Verleger vorbehalten.

Vorwort zur ersten Auflage.

Bei dem Bestreben, das ungeheure Gebiet der Geologie in populärer Weise darzustellen, erwies es sich bald als unmöglich, alle einzelnen Teile in einer Vollständigkeit zu behandeln, wie sie etwa von einem Lehrbuche gefordert werden kann. Es ergab sich die Notwendigkeit, die wichtigeren und für die allgemeine Übersicht bedeutenderen Thatsachen und Anschauungen hervorzuheben und durch eingehende Darstellung dem Verständnis nahezurücken und dafür weniger Hervorragendes zu übergehen. Diese Einschränkung, welche sich naturgemäß in der historischen Geologie am meisten geltend macht, war unerläßlich, sollte nicht das Ganze an Übersichtlichkeit verlieren.

Ich habe mich bestrebt, überall den neuesten Standpunkt der Wissenschaft darzustellen, und hoffe, daß dies bis zu einem gewissen Grade gelungen ist. Noch während des Druckes ist viel neue Litteratur erschienen, die nicht mehr berücksichtigt werden konnte. Allein die meisten dieser neuen Erscheinungen sind nicht so tief einschneidender Natur, daß wesentliche Änderungen dadurch herbeigeführt worden wären.

Der Fachmann wird vermutlich das Fehlen von Citaten als Mangel empfinden, doch schien mir die Mitteilung des ganzen wissenschaftlichen Apparates für ein populäres Buch viel zu schwerfällig. Daß ich überall auf die Originalabhandlungen zurückgegriffen habe, wird jeder Kenner bemerken; ebenso wird es ihm nicht entgehen, daß auf die Darstellung der dynamischen Geologie und namentlich auf das fünfte Kapitel die neueren Werke von Sueß maßgebenden Einfluß geübt haben.

Wenn manche schwierige Fragen nicht mit jener erschöpfenden Gründlichkeit behandelt sind, welche dem selbständigen Forscher auf diesem Gebiete wünschenswert erscheinen muß, so mag zur Erklärung dienen, daß das Werk in erster Linie für ein großes Publikum geschrieben ist, welches dem Gegenstande Interesse, aber in der Regel keine weit reichenden Vorkenntnisse in den einzelnen Spezialfächern

entgegenbringt. Diesem Leserkreise mußte die Darstellung angepaßt und darum ein zu tiefes Eindringen in Kontroversen vermieden werden; immerhin wird auch der Geolog von Fach manchen neuen Gesichtspunkt oder manche konsequentere Durchführung gewisser Auffassungen finden, die bisher nur flüchtig angedeutet waren.

Für die Illustrationen des Werkes hatte ich mich der Mitarbeiterschaft ausgezeichneter Kräfte zu erfreuen; ich erlaube mir, den trefflichen Künstlern für ihre Leistungen den besten Dank auszusprechen. Für einige der Aquarellbilder haben die Publikationen des geologischen Aufnahmeamtes in Washington Vorlagen geliefert, für einige andere boten die geographischen Charakterbilder von Hölzel Motive; alle übrigen sind Originale.

Wien, Sommer 1886.

Melchior Neumayr.

Vorwort zur zweiten Auflage.

Selten hat ein populäres, aber doch von streng wissenschaftlichem Geiste getragenes Werk eine so einstimmige Anerkennung errungen wie Neumayrs „Erdgeschichte", die man heute mit Recht zu den hervorragendsten Zierden unserer naturgeschichtlichen Litteratur zählt. Mit der ehrenvollen Aufgabe betraut, die zweite Auflage dieses wahrhaft klassischen Werkes zu besorgen, unternahm ich die Arbeit mit dem Bestreben, das neue Material unter möglichster Erhaltung des bewährten alten in den gegebenen Rahmen einzufügen; entsprach dies doch den Gefühlen der Pietät gegen den der Wissenschaft so früh entrissenen Verfasser, und hatte ja der große Erfolg der „Erdgeschichte" den inneren Wert des Gebotenen und die Richtigkeit des eingeschlagenen Weges verbürgt.

In dem Maße aber, wie die Bearbeitung fortschritt, trat immer deutlicher die Notwendigkeit tief einschneidender Änderungen hervor. Neumayr hatte sich nicht auf die Wiedergabe gefestigter Erkenntnisse beschränkt, sondern er war bemüht, seine Leser in allen einer elementaren Behandlung zugänglichen Fragen bis an die äußerste Grenze der vorgeschrittenen Wissenschaft zu leiten, um von dieser Höhe einen weiten Ausblick auf die fernen Ziele künftiger Forschung zu erschließen. Der gebildete Laie wurde durch die allseitige und vorurteilsfreie Beleuchtung offener Fragen zum Nachdenken angeregt und in die Lage versetzt, selbst ein Urteil zu fassen, und auch der Fachmann folgte mit dem größten Interesse diesen Ausführungen.

Nun hat sich aber infolge der außerordentlichen Vermehrung der geologischen Beobachtungen in fast allen Ländern der Erde seit dem Erscheinen der ersten Auflage vieles geändert: manche offene Fragen haben ihre Lösung gefunden, und an ihrer Stelle sind neue aufgetaucht; andere Probleme sind in neuer, vielfach ganz unerwarteter Beleuchtung erschienen, und in vielen, selbst grundlegenden

Anschauungen hat sich ein unverkennbarer Wandel vollzogen. Gerade die „Erdgeschichte" mit ihren zahlreichen anregenden und neuen Gesichtspunkten hat nicht wenig zu dieser glänzenden Entwickelung unserer Wissenschaft beigetragen.

Unter diesen Umständen erwies sich das konsequente Festhalten an dem ursprünglich aufgestellten Grundsatze bald als unmöglich; es mußte entweder auf eine nähere Erörterung gerade der anziehendsten Probleme verzichtet und dadurch die „Erdgeschichte" ihres Hauptreizes entkleidet werden, oder man mußte den Versuch machen, die betreffenden Fragen zum Teil auf neuer Grundlage zu besprechen, um so die Eigenart des Werkes zu erhalten und es zugleich annähernd auf dieselbe wissenschaftliche Höhe zu bringen, die es zur Zeit seines ersten Erscheinens eingenommen hat. Der erstere Weg erschien mir gänzlich ausgeschlossen, denn er hätte zu einer Verstümmelung des mir anvertrauten Werkes geführt; so mußte ich den letzteren betreten, obwohl es gerade mir als ehemaligem Schüler Neumayrs besonders schwer fiel, weitgehende Änderungen vorzunehmen. Daß namentlich der Abschnitt über Gebirgsbildung eine bedeutende Umgestaltung erfahren hat, war hauptsächlich durch das Erscheinen von E. Sueß' „Antlitz der Erde" und die zahlreichen wichtigen, an dieses große Werk anknüpfenden Veröffentlichungen bedingt.

Wo es sich um Neumayrs eigene Forschungsergebnisse handelte, habe ich eine möglichst unveränderte Aufnahme des Textes der ersten Auflage für meine Pflicht gehalten.

Mit besonderem Danke hebe ich schließlich das bereitwillige Entgegenkommen der Verlagsanstalt hervor, die nicht nur eine beträchtliche Vergrößerung des Umfanges des ersten Bandes und zahlreiche neue Abbildungen bewilligt, sondern sich auch an der Drucklegung mit Takt und Umsicht beteiligt hat.

Prag, Frühjahr 1895.

Viktor Uhlig.

Inhalts-Verzeichnis.

Allgemeine Geologie.

Seite

Einleitung: Geschichte und Grundbegriffe der Geologie 3
Wesen und Inhalt der Geologie 3
Geschichte der Geologie 14
Grundbegriffe der Geologie 31
Lagerungsverhältnisse 50

I. Physikalische Geologie.

1. Die Erde im Weltraume 59
Der Fixsternhimmel 59
Das Planetensystem 61
Spektralanalyse 64
Die Sonne 69
Der Zustand der Gestirne 78
Der Mond 84
Vergangenheit und Zukunft der Erde . . . 86
Die Meteoriten 90
Zusammensetzung der Meteoriten 103
2. Physische Beschaffenheit der Erde . 109
Gestalt und Größe der Erde 109
Gewicht der Erde 115
Temperatur im Erdinneren 116
Die Dicke der Erdkruste und der Zustand des Erdinneren 127

II. Dynamische Geologie.

3. Vulkane 133
Begriff der dynamischen Geologie 133
Der Vesuv 135
Vulkanische Auswurfsprodukte 152
Erhebungs- und Aufschüttungstheorie . . 166
Die Phlegräischen Felder 172
Die übrigen Vulkane Italiens 179
Vulkaninseln im Atlantischen Ozean . . . 195
Europäische (außeritalienische) Vulkane . . 211
Die Vulkane Asiens, Ostafrikas und des Indischen Ozeans 219
Die amerikanischen Vulkane 243
Die Vulkane im Stillen Ozean 257
Zahl der Vulkane 267
Einteilung der Vulkane 267
Zerstörung der Vulkanberge 270
Ursachen der vulkanischen Erscheinungen . . 277
4. Erdbeben 285
Allgemeiner Charakter der Erderschütterungen 285
Zahl und Dauer der Erdbeben 286
Verbreitung der Erdbeben 297

Seite

Natur und Wirkung der Stöße 303
Seebeben 314
Die Sintflut 316
Ursachen der Erdbeben 319
Untersuchungsmethoden 323
5. Gebirgsbildung 339
Gebirgsformen 339
Arten der Störungen 340
Ältere Ansichten über Gebirgsbildung . . . 352
Der Bau des Alpensystems 357
Das Vorland des Alpensystems 365
Senkungsgebiete 370
Wesen der Gebirgsbildung 379
Fortdauer der Gebirgsbildung 387
Erdbeben und deren Zusammenhang mit dem Gebirgsbau 389
Geographische Homologien 394
Die Frage der Strandverschiebungen . . . 397
Ursachen der Strandverschiebungen . . . 407
Alter der Festländer 413
6. Wirkung von Wasser und Luft . . . 417
Menge des Wassers 417
Grundwasser, Quellen und Brunnen . . . 418
Geiser und Schlammvulkane 427
Chemische Wirkung des Wassers 446
Verwitterung 451
Erosion 455
Bergstürze und Erdrutschungen 461
Wildbäche 469
Thalbildung 476
Cañons 484
Thalbildung in Faltengebirgen 489
Abtragung der Gebirge 496
Karstbildung 500
Lößlandschaft 510
Thalterrassen 514
Verlegung der Flußläufe 519
Ablagerungen aus fließendem Wasser . . . 522
Zerstörende Wirkung des Meeres 527
Wirkung des Eises 536
Die Gletscher und ihre Bewegung 538
Erosion und Transport durch Gletscher . . 555
Entstehung der Seen 562
Eisberge 570
Wirkung des Windes 573
Wüstenbildung 575
Gesamtwirkung der Denudation 586

III. Gesteinsbildung.

Seite

7. Schichtgesteine 590
Bildung verschiedener Arten von Schichtgesteinen 590
Klastische Gesteine 593
Bildung von Steinsalz, Gips und Anhydrit . 596
Ausscheidung von Kalk 602
Kalkbildung durch Pflanzen, Mollusken, Stachelhäuter und Korallen 608
Entstehung der Korallenriffe und Atolle . . 612
Kalkbildung durch Foraminiferen. Weißer Tiefseeschlamm 623
Roter Tiefseethon und Radiolarienschlick . . 632
Der Dolomit 634

Seite

8. Massengesteine 636
Zusammensetzung der Massengesteine . . . 636
Chemische und mikroskopische Untersuchung der Massengesteine 639
Entstehung der Massengesteine 643
Strukturformen der Massengesteine . . . 648
Die wichtigsten Gesteinstypen 650

9. Kristallinische Schiefer 651
Die kristallinischen Schiefer und ihre Lagerung 651
Organisches Leben in archäischer Zeit . . . 657
Jüngere kristallinische Schiefer 661
Entstehung der kristallinischen Schiefer . . 663

Verzeichnis der Abbildungen.

Farbendruck-Tafeln.

Seite

Spektralanalyse. (Nach Kirchhoff, Bunsen, Lockyer u. a.) 68
Sonnen-Protuberanzen. (Nach den Annalen der Sternwarte in Cambridge, Massachusetts.) . 76
Die Hemisphären des Planeten Mars. (Nach J. V. Schiaparelli.) 80
Meteoriten. (Nach Exemplaren des Wiener Hofmuseums.) 96
Der Kilimandscharo. (Nach Dr. Hans Meyer.) 221
Die Aconcagua-Kette mit den östlichen Vorbergen. (Original von A. Goering.) 340
Profile aus den Alpen und dem Schweizer Jura. (Nach A. Heim.) 347
Natürliche Säule in Wyoming, Nordamerika. (Nach U. S. A. Geological Survey.) . . . 458
Das Gletscherthor am Rhônegletscher. (Original von Ernst Heyn.) 547
Die östliche Sahara. (Original von E. Heyn.) 576
Lebende Rifforallen. (Original von E. von Ransonnet.) 612
Mikroskopische Vergrößerung von Dünnschliffen. (Mit Textblatt.) 641

Holzschnitt-Tafeln.

Die Drei Zinnen bei Schluderbach in Tirol. (Nach Photographie.) 12
Der Vesuv: Rand des Lavastromes von 1872; Blocklava. (Nach Photographie.) 147
Der Gipfel des Popocatepetl. (Nach J. Felix und H. Lenk.) 248
Die Sinterterrassen des Tetarata-Sprudels auf Neuseeland. (Nach F. von Hochstetter.) . 435

Seite

Plateauoberfläche in der Nähe des Großen Cañon. (Nach Ives.) 485
Der Monte Cristallo bei Schluderbach in Tirol. (Nach Photographie.) 591

Karten.

Verteilung der Vulkane auf der Erde 195
Die Vergletscherung des Tegernseegebietes während der Eiszeit 566

Illustrationen im Text.

Aussicht vom Pic Abajo in Colorado 5
Rifforalle (Madrepora palmata) 6
Lebende Globigerine 7
Ansicht des Ätna 8
Karwendel- und Wettersteingebirge, als Typus eines Kettengebirges; Südwestrand von Mesa Verde in Colorado 9
Geknickte Kalkschichten 10
Hügelgruppen, aus mäßig aufgerichteten Schichten aufgebaut; Gruppe von Vulkankuppen . 11
Der Prebischkegel in der Sächsischen Schweiz . 13
Ein Stück sogenannten Ruinenmarmors . . . 17
Ansicht des Erdinneren und seines Zusammenhanges mit den Vulkanen 20
Der Pik von Teneriffa 27
Horizontal gelagerte Schichten, durch einen Bach aufgeschlossen 31
Paradoxides bohemicus 34
Omphyma subturbinatum; Conularia; Dalmanites socialis; Orthoceras Neptuneum; Echinosphaerites; Orthis hybrida . . . 35
Favosites; Graptolithes 36

Seite

Pterygotus; Stringocephalus Burtini; Goniatites intumescens 37
Pterichthys; Lecithocrinus Eifelianus; Calceola sandalina; Lepidodendron Sternbergi 38
Pentatrematites; Fusulina cylindrica; Branchiosaurus 39
Labyrinthodon Ruetimeyeri 40
Ceratites nodosus; Terebratula vulgaris; Daonella Lommeli; Arcestes; Encrinus liliiformis 41
Schädel von Lycosaurus; Schädel von Tritylodon 42
Amaltheus margaritatus; Trigonia navis . . 43
Pleurotomaria anglica; Arietites spiratissimus; Belemnites calloviensis; Collyrites . 44
Cidaris coronata; Stephanoceras Brongniarti; Plesiosaurus 45
Archaeopteryx von Solnhofen 46
Ichthyornis; Toxaster complanatus; Crioceras Roemeri; Hippurites cornu vaccinum . . 47
Iguanodon; Inoceramus concentricus; Ananchytes ovatus 48
Palaeotherium magnum 49
Skelet von Rhinoceros antiquitatis 50
Auskeilende Schichten 51
Set Saß mit dem Richthofen-Riff; Schematische Profilzeichnung des Set Saß mit dem Richthofen-Riff 52
Geneigte Schichten; Bergkompaß 53
Überkippte Schichten am East River in Colorado; Synklinale und Antiklinale 54
Aufgebrochene Antiklinalfalte aus dem Tetongebirge in Idaho; Antiklinale und Synklinale aus dem Big Thomson Creek in Colorado; Abstoßende Lagerung; Verwerfungen oder Brüche; Verwerfung mit Schleppung der Schichten . 55
Ungleichmäßige Überlagerung; Ein Gang, horizontale Schichten durchsetzend 56
Gekreuzte Gänge bei St. Louis 57
Sternhaufe aus dem Sternbilde des Tukan . . 61
Spektralapparat 65
Spiralnebel aus dem Orion; Ringnebel aus der Leier 69
Spiralnebel aus den Jagdhunden 70
Die Sonnenoberfläche mit Flecken und Fackeln . 71
Sonnenflecke 72. 73
Zwei Sonnenflecke, in ihrem allmählichen Vorrücken über die Sonnenscheibe dargestellt . . 74
Schematische Darstellung der scheinbaren Veränderung der Sonnenflecke durch die Umdrehung der Sonne 75
Die Sonne bei totaler Verfinsterung mit Protuberanzen und Korona 76
Ein Sonnenfleck, von Fackeln umgeben . . . 77

Seite

Verdoppelung der Kanäle auf dem Planeten Mars 81
Der Vesuv und die Phlegräischen Felder bei Neapel als Mondlandschaft gezeichnet . . . 85
Mondlandschaft mit zahlreichen mittelgroßen und kleinen Ringbergen 86
Mondlandschaft mit den Apenninen, dem Krater Archimedes ꝛc. 87
Schlackenkegel eines Lavastromes 89
Der 39,2 kg schwere Meteorit vom Meteoritenfalle bei Hraschina 92
Gehämmertes Meteoreisen 94
Ein Meteorit von Steinregen bei Stannern 96. 97
Der Meteorit von Butsura 99
Kometenbahnen und Sternschnuppenschwärme . 102
Widmanstättensche Figuren im Meteoreisen . . 105
Aus Meteoreisen geschmiedete Pfeilspitze von Grönland 106
Chondrit 107
Eisenblöcke von Ovifak 108
Temperaturverteilung im Gotthardtunnel . . 122
Schematischer Durchschnitt der Erde 129
Karte der Umgebung von Neapel 136
Der Vesuv, von der Insel Nisita gesehen. . . 138
Ein antikes Relief, den Einsturz eines Tempels in Pompeji bei dem Erdbeben des Jahres 63 n. Chr. darstellend 139
Pinienwolke des Vesuvs im Jahre 1822 . . . 140
Der Vesuvkrater im Jahre 1774 146
Stirn des Lavastromes von 1872 in der Ortschaft Massa 147
Der Vesuv am 26. April 1872 148
Aschenkegel des Vesuvs vor und nach dem Ausbruche von 1872 149
Das Innere des Vesuvkraters im Jahre 1880 und im Jahre 1882 150
Blocklava bei Hilea, Hawai 153
Ende eines Stromes von Blocklava aus dem Giorgios-Krater auf Santorin in Griechenland 154
Gekröselava des Vesuvs 155
Gekröselava vom Kilauea, Hawai 156
Spratzkegel von Bleiglätte aus dem Hüttenwerk von Přibram in Böhmen 157
Die Fingalshöhle auf Staffa 158
Säulenbasalte vom Rio Colorado 159
Fiederstellige Basaltsäulen des Humboldt-Felsens bei Aussig an der Elbe in Böhmen 160
Kugelschaliger Basalt von Lukavecz im Temeser Komitat 161
Basaltdecken von Holmarsfjäll auf Island . . 162
Eine „gedrehte Bombe" vom Vesuvausbruch des Jahres 1872. 165
Eine glockenförmige Lavakuppe von der Insel Bourbon; Der Mount Egmont auf Neuseeland 168

Seite

Schematischer Durchschnitt eines Vulkans; Ein Vulkankegel auf Neuseeland, horizontalen Tertiärschichten aufgesetzt 169
Der Puy Chopine in der Auvergne 171
Karte der Phlegräischen Felder 173
Der Monte Nuovo bei Puzzuoli 174
Die Insel St. Paul, Ansicht von der Westseite und vom Kratergipfel 177
Isolierte Tuffinsel in der Bucht von Lacco auf Ischia 178
Karte des Albanergebirges 180
Der Ätna im Hintergrunde, im Vordergrunde die aus geschichteten Gesteinen bestehenden Gebirge im Norden desselben; Der Ätna mit seinen parasitischen Kratern 181
Ausbruch aus einem parasitischen Krater des Ätna 182
Der Ätnakrater: in den Jahren 1804 und 1805; in den Jahren 1805—1809 183
Der Ätnakrater im Jahre 1838 184
Ausbruchspalte des Ätna 185
Kraterreihe des Ausbruches von 1783 auf der Skaptarspalte (Lakikrater), Island . . . 197
Der Vulkan Hverfjall am Mückensee auf Island 199
Durchschnitte der Vulkanreihen im Odádahraun auf Island 200
Der Beerenberg auf Jan Mayen 201
Der Fugleberg auf Jan Mayen, eine Kraterruine 202
Ältere Modellansicht des Piks von Teneriffa . 204
Die Insel Lanzarote mit ihren Ausbruchskegeln von 1730—1737 208
Vulkane der Auvergne 211
Die Santoringruppe im Ägeischen Meer . . . 214
Die Kameni-Inseln vor, während und nach der Eruption vom Jahre 1866 217
Der Piton de la Fournaise auf der Insel Bourbon 222
Ein kleiner Krater auf der Insel Amsterdam . 223
Pläne und Profile vom Krakatau 224
Die Innenwand des Rakata-Kegels 228
Karte der Sundastraße mit dem Krakatau und den neugebildeten Inseln Steers Eiland und Calmeyer Eiland 230
Übersichtskarte der japanischen Vulkane . . . 241
Der Mount Shasta in Kalifornien 244
Der erloschene Vulkan Cinder Cone am Snag Lake, Great Basin, Nordamerika 245
Der Panum-Krater am Monosee in Kalifornien 246
Der Jorullo in Mexiko 248
Der Krater des Jorullo 249
Plan des Jorullo 250
Plan der Insel Hawaï 257
Plan des Kilauea-Kraters im Jahre 1886 . . 258
Der Krater des Kilauea im Jahre 1823 . . . 259
Der Krater des Kilauea im Jahre 1840 . . . 260
Querschnitte des Kilauea-Kraters 261
Der Krater des Kilauea in der Gegenwart . . 262

Seite

Lavakaskade des Loa-Stromes von 1881 . . 263
Die Tarawera-Spalte von 1886, auf Neuseeland 265
Vulkanische Gänge mit Aufschüttungskegel am Toroweap-Cañon des Colorado-Plateaus in Nordamerika 271
Schematische Querschnitte durch einen Vulkan und durch Lakkolithen 272
Ansicht eines Lakkolithen, Mount Ellsworth . 273
Modell eines Lakkolithen, Mount Ellsworth . 274
Basaltgang der Insel Skye, mit seitlichen Intrusivlagern zwischen Sand- und Kalkschichten . 275
Eingestürzte Häuser in Casamicciola nach dem Erdbeben vom Jahre 1883 295
Karte der Insel Ischia 297
Geographische Verbreitung des Schallphänomens beim Ausbruch des Krakatau, des Erdbebens von Lissabon ꝛc. 298
Ein durch das Erdbeben vom Jahre 1783 gedrehter Obelisk vom Kloster San Bruno zu San Stefano in Kalabrien 304
Kreisrunde Öffnungen bei Rosarno in Kalabrien, entstanden beim Erdbeben vom Jahre 1783 . 306
Eine beim Erdbeben vom Jahre 1783 entstandene Spalte am Monte Sant' Angelo in Kalabrien 307
Sandkrater und Spalten, entstanden nach dem achäischen Erdbeben vom 26. Dezember 1861 309
Erdbebenspalte in Midori, Japan 321
Verschiebung an der Erdbebenspalte von Midori, Japan 322
Schienenverbiegung infolge von Horizontalverschiebung durch Erdbeben bei Sanzal 1892 . 323
Schematische Darstellung der Ausbreitung eines Erdbebens 327
Die Kathedrale von Paterno in Kalabrien nach dem großen Erdbeben von 1857 328
Isoseistenkarte des Erdbebens von Charleston im Jahre 1886 333
Autograph des Erdbebens in Tokio (1880) . . 335
Modell, die Bewegung eines Erdteilchens darst. 336
Durchschnitt durch das Colorado-Plateau, Nordamerika 341
Verschiebungen der Kette des Mont Salève, zwischen Genf und Annecy 342
Faltungen im Kohlenkalk am Eingange des Mankshang-Passes im zentralen Himalaja . 343
Verschiedene Arten von Falten; Überschiebungen im belgischen Kohlenfeld bei Landelies . . 344
Überschiebung in den Appalachen; Entstehung der appalachischen Überschiebung 345
Das Gstellihorn im Urbachthal 346
Gefalteter Schiefer mit zwei kleinen Verschiebungen 347
Schematisches Profil der „Kalkkeile" im Gneis des Berner Oberlandes 348
Mehrfach zerrissener und auseinander gezerrter Belemnit auf einem Schieferstück 349

	Seite
Gefalteter Thonschiefer	350
Schema für die Bestimmung des Alters eines Gebirges	353
Schematisches Profil durch die Insel Kos	354
Schematischer Durchschnitt der Alpen vom Standpunkt der Hebungstheorie aus	355
Tektonische Skizze der Gebirge Europas	357
Tektonische Skizze der Juraketten	358
Der Gipfel der Aiguilles Rouges	363
Horizontale Zechsteindecke über gefalteten Devonschichten in Obernitz bei Saalfeld in Thüringen	365
Durchschnitt der archäischen Ablagerungen von Petite Nation bis St. Jérôme in Kanada	369
Karte des öst. Mittelmeeres zur älteren Pliocänzeit	374
Grabenbrüche in Ostafrika	377
Ansicht des Großen Ostafrikanischen Grabens von Meri (Iraku), mit dem Manjara-See und dem Kilimandscharo	378
Die Erdbeben Niederösterreichs	391
Die Erdbeben Unteritaliens	393
Karte des pazifischen und atlantischen Küstentypus	396
Der Serapistempel von Puzzuoli	400
Terrassen von Ilivertalik	403
Norwegische Terrassenlandschaft	404
Ruine von Igalikko	405
Verlauf des Grundwasserspiegels unter welligem Terrain	419
Verschiedene Arten von Quellbildungen	421
Schemat. Darstellung eines artesischen Brunnens	423
Artesischer Brunnen zu Sidi Amran in Algerien	424
Heiße Quellen und Geiser von Orakaikorako auf Neuseeland	432
Sinterkegel d. Castle-Geisers im Yellowstone-Park	436
Sinterkegel d. Beehive-Geisers i. Yellowstone-Park	437
Sprudelnder Old Faithfull-Geiser im Yellowstone-Park	438
Umgebung des Old Faithfull-Geisers im Yellowstone-Park	439
Der Wasser- und Gas-Geiser bei Kane in Pennsylvanien	445
Querschnitt des Spitaler Ganges bei Schemnitz	450
Regenrinnen an einem Berggehänge des Salt Creek Cañon in Utah	456
Erdpfeiler auf dem Ritten bei Bozen	457
Erdpfeiler im Monumentenpark, Nordamerika	458
Erodierte Sandsteinpyramiden im „Garden of the Gods", Nordamerika	459
Erodierte Felspartie in Wyoming, Nordamerika; Erodierte Kreidefelsen bei Saërmi im Kaukasus	460
Der Bergsturz bei Elm vom 11. September 1881	465
Gestauchte Diluvialablagerungen aus den Kiesgruben bei Konnewitz	469
Das Bad St.-Gervais in Savoyen, nach der Katastrophe vom 12. Juli 1892	472
Verbauung eines Wildbaches in den französischen Alpen durch gemauerte und lebende Thalsperren	475
Strudellöcher im Gletschergarten von Luzern	480
Die Lichtensteinklamm bei St. Johann im Pongau	481
Seitenpfeiler des Großen Cañon vom Rio Colorado in Nordamerika	486
Thalbildung im Juragebirge	490
Seitenverlegung eines Thales	491
Durchbruch des Dunajec durch den Pienin	494
Cañon des Yampaflusses in Colorado	495
Durch eine Synklinalfalte gebildeter Berggipfel	496
Das Matterhorn bei Zermatt im Kanton Wallis	497
The Devils Slide („Des Teufels Rutschbahn") im Utahgebirge, Nordamerika	498
Die „Stipperstones" in England	499
Karte der Dolinenlandschaft von Storje im Triestiner Karst	502
Der Karst bei St. Canzian	503
Karstlandschaft am Dugapaß bei Hodzina Poljana in Montenegro	508
Lößufer des Hoangho in China	511
Lößschlucht in China	512
Lößwohnungen in China	513
Das „Mittelgebirge" am Fuß der Kalkberge bei Hall in Tirol	514
Terrassen des Fraserflusses in Columbia (Nordamerika)	515
Das ehemalige Flußsystem Norddeutschlands	520
Sandablagerung der Navajo-Church im westlichen Nordamerika	522
Der See von Silvaplana im Oberengadin, durch einen Schuttkegel eingeengt	523
Das Delta des Nils	524
Das Kurische und das Frische Haff	525
Das Delta des Po	526
Das Delta des Mississippi	527
Meeresstrand bei Porto Venere in Ligurien	528
Küste der Insel Jan Mayen	529
Das Bürgermeisterthor auf der Bäreninsel	530
Meeresstrand auf der Insel Capri	531
Strandpartie von Herrevik auf Gotland	532
Strandpartie von Asund auf Gotland	533
Meeresstrand bei Sorrento	534
Der Aletschgletscher im Berner Oberland	539
Ein Gletscher in Norwegen	543
Ein Gletschertisch vom Rhônegletscher	544
Gletscherspalten	547
Karte des Obersulzbachgletschers und seiner Firnmulde	550
Grönländisches Inlandeis	553
Intermittierender Springbrunnen auf dem grönländischen Inlandeis	554
Gletscher-Gufferlinien	556
Gekritztes Geschiebe von der Grundmoräne eines Gletschers	558

	Seite
Rundhöckerlandschaft der Umgebung von St. Moritz im Engadin	559
Der Fischsee in der Hohen Tatra	567
Rundhöckerlandschaft mit ausgeschliffenem Seebecken aus den schottischen Hochlanden	568
Eisberge	570
Kalbeis in der Bucht Tasiusarsoak in Grönland; Ins Meer auslauf. Gletscher von Jan Mayen	571
Schema eines schwimmenden Eisberges	572
Die Wanderung der Düne bei dem Dorfe Kunzen auf der Kurischen Nehrung	575
Zeugenlandschaft bei Guelb el Zerzour	577
Bab el Cailliaud in der Libyschen Wüste	578
Felsoberfläche, durch Sandstürme angenagt	580
Die Sphinx bei Gizeh in Ägypten	581
Konglomeratblock, durch Winderosion frei gelegt	582
Die Gebiete der Erde ohne Abfluß nach dem Meere	588
Cañon von Lodore im Uintagebirge, Nordamerika	591
Vulkanischer Tuff, auf geneigter Unterlage abgesetzt, aus dem Yellowstone-Thal in Nordamerika	593
Eocäner Hieroglyphensandstein von Troppberg in Niederösterreich	595
Der Salzsee Dariatscha in Westpersien	600
Der abflußlose Lal-See und Mount Agassiz im Uintagebirge in Nordamerika	601
Stalaktiten in der Tropfsteinhöhle von Aggtelek in Ungarn	603
Stalagmiten in der Tropfsteinhöhle von Aggtelek	604
Der Wasserfall von Tivoli mit seinen Travertinbildungen	605
Travertin mit Blattabdrücken, von Tivoli bei Rom	606
Einzelkorallen aus tiefem Wasser	608
Lithothamnium von Capri; Dactyloporiden der Trias	609
Aus Krinoidengliedern (Encrinus liliiformis) zusammengesetzter Kalk	610
Seelilie (Pentacrinus Briaroides) aus dem Lias	611
Astraea pallida mit den lebenden Tieren; Diploria cerebralis, eine Mäandrine	612
Hohe Insel mit Wall- und Saumriff	613
Neukaledonien mit seinen Barrierriffen; Die Malediven	614
Die Ponapé-Insel	615
Die Gambier-Inseln; Schematische Darstellung der Bildung eines Barrierriffes um eine Insel	616
Das Peros-Banhos-Atoll	617
Das Stewart-Atoll	618
Der „Blumentopf"; Ansicht eines echten Atolles	619
Die Pfingstinsel; Durchschnitt eines Korallenriffes	620
Ursprünglich geneigte Rifkalkschichten von den Bermudas	621
Übergußschichtung des Schlerndolomits am Porbojoch	622
Verschiedene Foraminiferen	624
Nummulitenkalk	625
Schleppnetze oder Dredschen, zur Untersuchung des Meeresgrundes verwendet	626
Mit Kalknadeln bedeckte Orbulina; Kokkolithen und Kokkosphären	627
Tiefseeschlamm mit Foraminiferen, Radiolarien, Diatomeen, Schwammnadeln, Kokkolithen und sogenanntem Bathybius	628
Rhabdosphäre	629
Schlämmrückstand von weißer Kreide	630
Schwammnadeln; Ein Glasschwamm aus der Tiefsee	631
Ein Zahn von Carcharodon aus dem Tertiärthon von Baden bei Wien	633
Granit und geschichtete Gesteine	636
Flüssigkeitseinschlüsse mit Libellen; einer davon mit einem Kochsalzkristall	643
Lavagänge im Tuff am Ätna, durch Auswitterung über die Oberfläche hervortretend	644
Säulenbasalt auf der Insel St. Helena	645
Säulenförmig abgesonderter Quarztrachyt in den Rocky Mountains, Nordamerika	646
Durchschnitt einer eisernen Röhre, wie sie von Daubrée bei seinen Experimenten benutzt wurde; Durch Behandlung mit überhitztem Wasser angegriffene Glasstücke	647
Die Kalkmasse des Athos, vom Kloster Karakalu (Chalkidike) aus gesehen	653
Durchschnitt durch den Böhmerwald	654
Durchschnitt durch den „Pfahl" im Böhmerwald; Eine Partie des „Pfahles" im Böhmerwald	655
Eozoon	657
Ein Stück Eozoon, ideal dargestellt; Ein Stück Eozoon, mit den Weichteilen restauriert	658
Angebliche Kanäle von Eozoon, durch Salzsäure losgelöst; Dünnschliff von Eozoon	659
Profil durch die bituminösen Gneise und Glimmerschiefer von Nullaberg in Wermland, Schweden	660
Schwanzschilder von Trilobiten aus dem Glimmerschiefer von Bergen in Norwegen	661
Die Akropolis von Athen	663
Kalkkeil im Gneis der Jungfrau, vom Roththale aus gesehen	669

Berichtigung.

Seite 39. Die Abbildung von Branchiosaurus ist fehlerhaft. Im 2. Band wird diese Form (nach H. Credner) richtig abgebildet.

Allgemeine Geologie.

Einleitung: Geschichte und Grundbegriffe der Geologie.

Inhalt: Wesen und Inhalt der Geologie. — Geschichte der Geologie. — Einige Grundbegriffe der Geologie. — Lagerungsverhältnisse.

Wesen und Inhalt der Geologie.

Vor etwa hundert Jahren erlebte die Bergakademie zu Freiberg in Sachsen einen merkwürdigen Zudrang hervorragend begabter junger Männer. Aus allen zivilisierten Ländern kamen sie herbeigeströmt, um die Vorlesungen von Gottlob Abraham Werner über eine Wissenschaft zu hören, die bis dahin noch auf keinem Lehrstuhl selbständig behandelt worden war; er trug über die Gesteinsmassen vor, welche die Erdrinde zusammensetzen, über ihre Beschaffenheit, ihre Bildung, Lagerung und Aufeinanderfolge, über die Veränderungen, denen sie unterworfen sind, mit Einem Worte über Geognosie nach dem damals, Geologie nach dem heute allgemein verbreiteten Namen. Wohl hatten schon früher manche bedeutende Männer denselben Gegenständen ihr Augenmerk zugewendet, allein ihr Wirken blieb vereinzelt und wenig beachtet, wie ihren Anschauungen meist entweder die sichere Grundlage der Beobachtungen oder die Unterordnung der erkannten Thatsachen unter einheitliche Gesichtspunkte fehlte. Erst Werner, dem Vater der Geologie, sollte es gelingen, ein auf fester Grundlage ruhendes System zu begründen und eine Schule zu bilden, die seinen Namen und seine Lehre so weit verbreitete, als es Menschen gibt, die an der Entwickelung der Naturforschung Anteil nehmen.

Die neue Wissenschaft entwickelte sich in voller Abhängigkeit von der Bergbaukunde und der Mineralogie, sie schien im Anfang kaum mehr als ein Zweig dieser oder im günstigsten Falle eine einfache Hilfswissenschaft ohne selbständige Daseinsberechtigung zu sein, und es dauerte lange, bis diese Anschauung ganz überwunden, bis der Bann aller Vorurteile gebrochen war, welche der Würdigung der neuen Richtung entgegenstanden. Inzwischen entsprang aus der Geologie ein weiterer Forschungszweig, der in gleicher Weise lange Zeit hindurch nur eine untergeordnete Rolle spielte: die Lehre von den Pflanzen und Tieren, welche in der Vorzeit die Erde bewohnt haben, die Paläontologie, für deren Entwickelung Cuvier und Brongniart von derselben Bedeutung waren wie Werner für die der Geologie.

In der kurzen Zeit ihres Bestehens haben beide Wissenschaften einen ungemein raschen und glänzenden Aufschwung genommen und vermögen unter ihren Vertretern eine Reihe der bedeutendsten Forscher dieses Zeitraumes aufzuweisen. Fortwährend strömen neue Schätze an Thatsachen und Beobachtungen aus allen Teilen der Erde zu, so daß deren Verständnis und die Übersicht über sie kaum Schritt zu halten im stande sind.

Wie weit wir uns aber auch von den ersten Anfängen entfernt haben, und wie bedeutend der Aufschwung auch ist, so hat dies doch an Einem Verhältnis nichts geändert, an dem außerordentlich engen Zusammenhang zwischen **Geologie und Paläontologie**, der so weit geht, daß in der Mehrzahl der Fälle eine und dieselbe Person beide Gebiete oder wenigstens Teile beider zu umfassen sucht. Es mag das auffallend erscheinen, denn die Geologie behandelt die Gesteinsmassen der Erde, also unorganische Gebilde, die Paläontologie beschäftigt sich mit der Tier- und Pflanzenwelt der Vorzeit, mit Organismen, Lebewesen, sie reiht sich demnach den biologischen Wissenschaften, zunächst der Zoologie und Botanik, an. Wenn trotzdem die Verbindung zwischen Geologie und Paläontologie eine überaus innige ist, so kann dies nicht durch äußerliche Umstände bedingt sein, sondern muß seinen Grund im inneren Wesen beider Wissenszweige haben. In der That verbindet beide ein gemeinsamer Zug und stellt sie allen anderen beschreibenden Naturwissenschaften gegenüber: die Geologie schildert uns nicht nur Beschaffenheit und Lagerung der Massen, sondern auch ihre Entstehung, ihre Aufeinanderfolge und die Veränderungen, denen sie unterworfen waren und noch sind, und in derselben Weise lehrt uns die Paläontologie nicht nur die Form und den Bau einer untergegangenen Lebewelt kennen, sondern sie zeigt uns auch, wie in langen Zeiträumen nacheinander zahlreiche verschiedene Faunen und Floren auf der Erdoberfläche gelebt haben, und in welchem Zusammenhang dieselben untereinander und mit der jetzigen Schöpfung stehen. Mit Einem Worte, wir sehen in ihnen die beiden historischen Wissenschaften, welche bestimmt sind, die „**Erdgeschichte**" zu schreiben, und in diesem gemeinsamen hohen Ziele liegt sowohl der Grund für die innige Zusammengehörigkeit beider als auch ihre außerordentliche Bedeutung für die gesamte Entwickelung der Wissenschaft. Es ist der bezeichnende Grundzug der neueren Richtung der Naturgeschichte, daß sie nicht mehr die reine Beschreibung als Hauptaufgabe betrachtet, sondern die Entstehung der Naturkörper als wichtigeren Gegenstand der Untersuchung neben jene gesetzt hat. Sie forscht nicht nur, wie die Dinge sind, sondern wie sie geworden sind, und bei dieser genetischen Richtung, diesem Drange zu historischer Auffassung, der überall herrschend geworden ist, ergibt sich von selbst, wie tief und maßgebend Geologie und Paläontologie in alle wichtigsten Fragen eingreifen müssen, und daß **die erstere** ihre Aufgabe nur durch die Unterstützung der letzteren vollständig zu lösen vermag.

Keine gewaltigeren Erscheinungen, keine großartigeren Gegenstände der Forschung, keine bedeutenderen Probleme bietet unsere Erde, als diejenigen sind, welche den Geologen beschäftigten. In erster Linie tritt an ihn die Frage nach den ersten Uranfängen heran, nach der **Entstehung unseres Planeten**, nach den Vorgängen, welchen dieser seine selbständige Existenz innerhalb des Sonnensystems verdankt. Allerdings ist hier die rein geologische Methode nicht ausreichend, um eine befriedigende Antwort zu geben; wir müssen uns wesentlich auf die Aufschlüsse stützen, die uns von anderer Seite, namentlich durch die Resultate der Astrophysik gegeben werden.

Das eigenste Gebiet der Geologie betreten wir mit der Betrachtung der **Entstehung und Lagerung der Gesteine**, d. h. der festen Massen, welche an dem Aufbau der Erde im großen Anteil nehmen. In erster Linie finden wir unter den Gesteinen zwei Haupttypen, die das Auge in der Natur bei einiger Übung sehr rasch unterscheiden lernt: einerseits solche Bildungen, die bald mehr, bald weniger deutlich durch parallele Klüfte oder Fugen in Schichten oder Bänke gesondert sind, es sind die **Flöz-, Sediment-** oder **Absatzgesteine**; anderseits jene Vorkommnisse, welche keine derartige Absonderung in Lager aufzuweisen haben und daher als **massige Gesteine** bezeichnet werden. Sehr klar tritt der Kontrast zwischen beiden Formen in der auf S. 5 stehenden Landschaftsskizze hervor, welche die Aussicht vom Pic Abajo im Territorium Colorado der Vereinigten Staaten darstellt; die gerundeten Kuppen des massigen Trachyts heben sich scharf gegen die Tafellandschaft der geschichteten Gesteine ab, und auf den ersten Blick erkennt man,

daß hier zwei grundverschiedene Elemente zum Aufbau der Landschaft beigetragen haben.

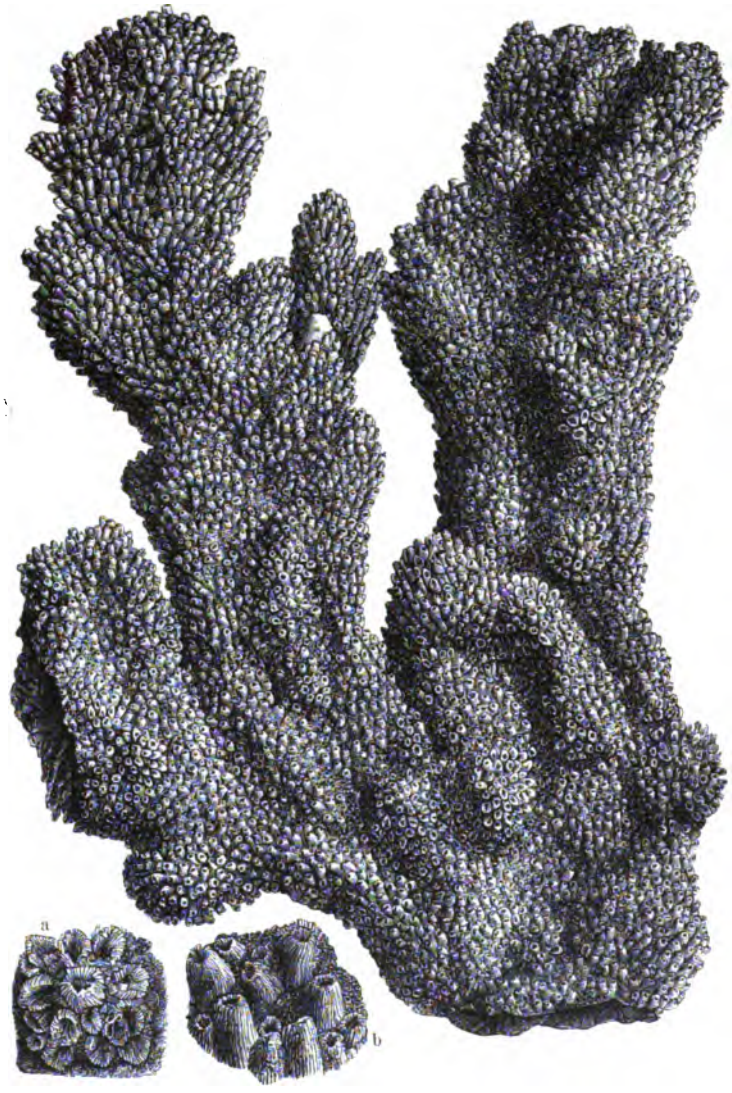
Wie die äußere Form und Anordnung, so ist auch die Entstehung der geschichteten Gesteine eine ganz andere als die der massigen. Die Bildung der ersteren sehen wir unter unseren Augen vor sich gehen, wenn wir beobachten, wie das Wasser Geröll, Sand, Schlamm, Teile von Organismen an seinem Boden absetzt oder in beschränkterem Maße gewisse Bestandteile, wie Gips, Steinsalz ꝛc., aus chemischer Lösung ausscheidet. Wo immer Wasser an der Erdoberfläche vorhanden ist, vor allem im Meere, gehen diese Prozesse vor sich; in der Nähe der Küste sehen wir besonders die Thone, Mergel, Sandsteine durch die Anhäufung von Schlamm und Sand entstehen. Wo Schalen von Muscheln oder winzigen Foraminiferen zur Ablagerung kommen oder die Korallentierchen ihre gewaltigen Bauten aufführen (vgl. Abbildung, S. 6), da geht Kalksteinbildung vor sich, und man ist zu der Behauptung berechtigt, daß alle die größten und ausgebreitetsten Kalkbildungen, die wir in unseren Gebirgen sehen, lediglich der Thätigkeit von Organismen ihre Entstehung verdanken. Ja, gerade die kleinsten unter diesen sind es, welche die größten Wirkungen hervorbringen: die winzigen Schälchen der Foraminiferen, vor allen der Globigerinen (vergl. Abbildung, S. 7), bedecken in unzähligen Mengen den Boden eines großen Teiles des offenen Ozeans, und daß in der Vorzeit dasselbe geschehen ist, bezeugt uns die mikroskopische Untersuchung vieler Kalksteine.

War es das Wasser, das wir bei der Entstehung der Sedimente an der Arbeit sahen, so ist es die Erstarrung aus geschmolzenem, heißem Zustand, welche die Massengesteine liefert. Für die Bildung der Granite, Porphyre, Trachyte, Basalte und der zahlreichen verwandten Felsarten finden wir in der Jetztzeit den einzigen analogen Vorgang in der Thätigkeit der Feuerberge, welche aus dem heißen Inneren der Erde geschmolzene Massen an die Oberfläche bringen, und deren Form uns in Europa der Ätna in großartigster Weise zur Anschauung bringt (vgl. Abbildung, S. 8). Die Form ihres Auftretens wie die Zusammensetzung der vulkanischen Produkte geben uns den Schlüssel zum Verständnis für den Ursprung jener Felsarten, welche in früheren Perioden der Erdgeschichte durch dieselbe Thätigkeit, wenn auch teilweise unter wesentlich anderen Bedingungen, als sie jetzt unmittelbar an der Oberfläche vorhanden sind, gebildet wurden. Bald sind es alte Lavaergüsse, bald die Ausfüllungen von Spalten, bald Massenausbrüche der Tiefe, denen wir im alten Gebirge begegnen.

Neben diesen beiden Typen tritt uns noch ein dritter entgegen, der zwischen ihnen in gewissem Sinne eine Mittelstellung

Aussicht vom Pic Abajo in Colorado. (Nach Hayden.)

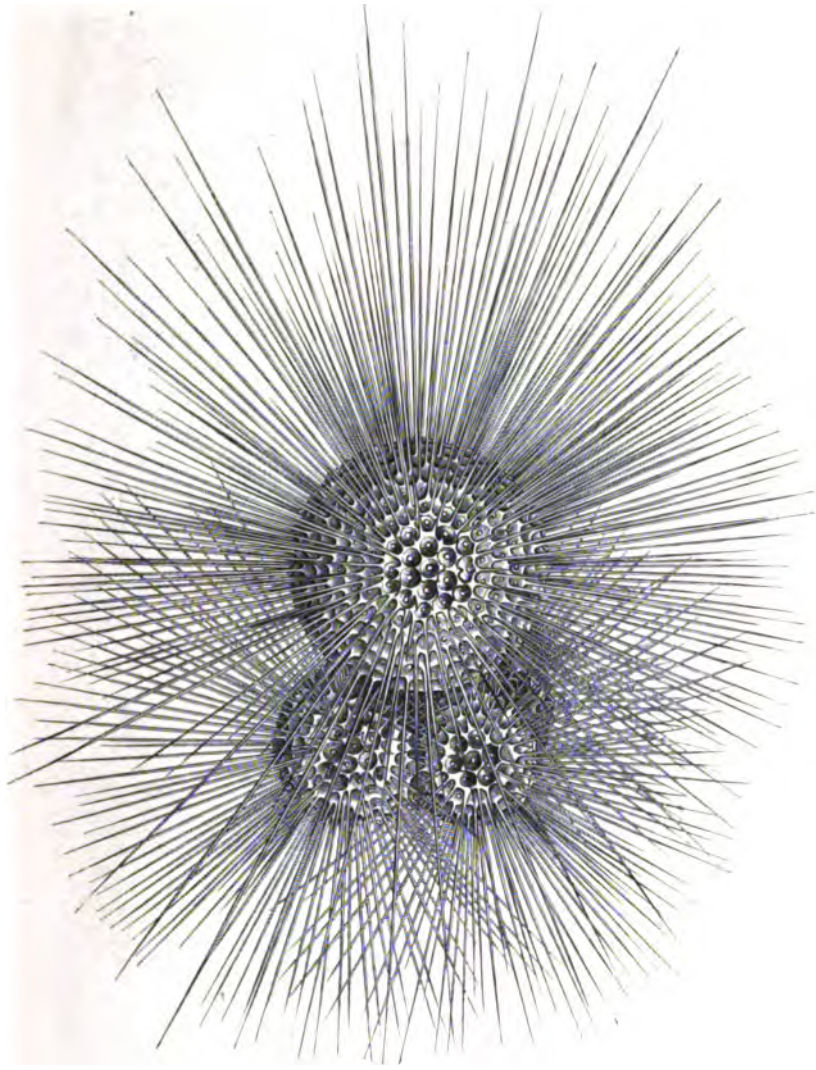
einnimmt: es ſind das die kriſtalliniſchen Schiefergeſteine: Gneis, Glimmerſchiefer und ihre Verwandten, die ſich durch das Vorhandenſein von Schichtung an die Sedimente, in ihrer Zuſammenſetzung an die Maſſengeſteine anſchließen, und deren Bildungsgeſchichte zu den ſchwierigſten und beſtrittenſten Problemen der Geologie zählt.



Riffkoralle, Madrepora palmata. Natürliche Größe; a und b etwas vergrößerte Kelche. (Nach Agaſſiz.)
Vgl. Text, S. 5.

Dieſe verſchiedenen Arten von Geſteinen ſind es, welche an dem Aufbau der Erdrinde teilnehmen; allein wenn wir ihr Vorkommen ins Auge faſſen, ſo wird es ſofort klar, daß ſie ſich zum großen Teil nicht mehr in jener Lage befinden, die ſie urſprünglich einnahmen, ſondern daß in dieſer Richtung die gewaltigſten Veränderungen vor ſich gegangen ſind. Aufs deutlichſte tritt dies bei den Abſatzgeſteinen hervor, welche ſich der ungeheuer überwiegenden Mehrzahl nach, entſprechend der vorherrſchenden Form des Bodens im Meere und in allen größeren Seen, urſprünglich in vollſtändig oder nahezu wagerechten Bänken abgelagert haben. Nun iſt es aber eine bekannte That-

sache, daß über weite Strecken der Erdoberfläche hin die Schichten sich nicht mehr in dieser ursprünglichen Lage befinden, sondern unter einem größeren oder kleineren Winkel geneigt (vgl. Abbildung, S. 11), ja senkrecht aufgestellt oder in der mannigfaltigsten Weise geknickt und gebogen sind (vgl. Abbildung, S. 10). Es müssen also hier spätere Massenbewegungen statt-

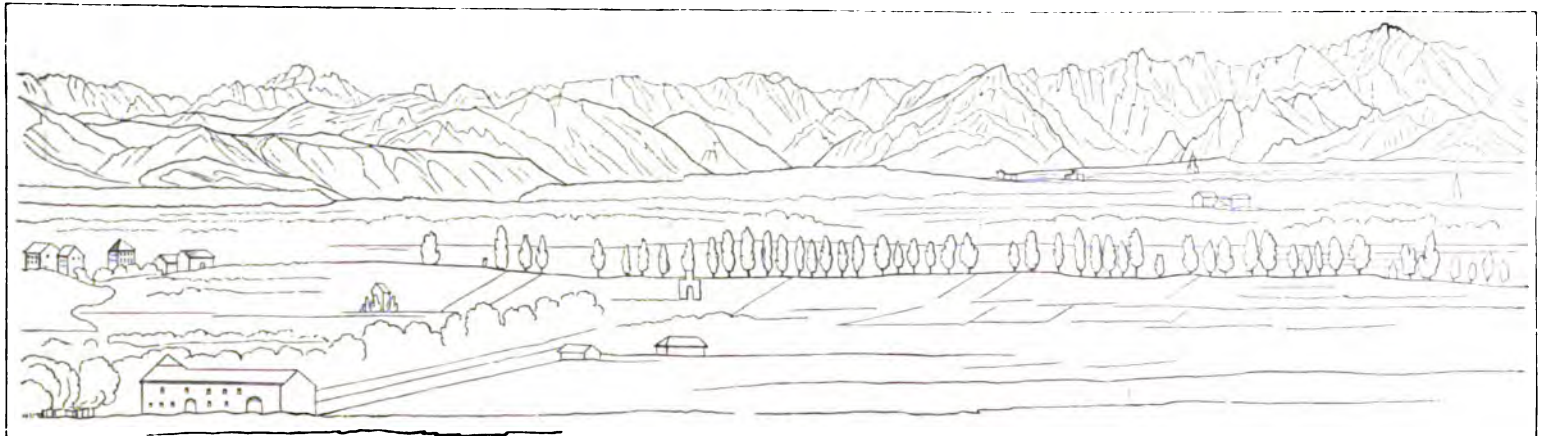


Lebende Globigerine, in sehr starker Vergrößerung. (Nach Thomson.) Vgl. Text, S. 5.

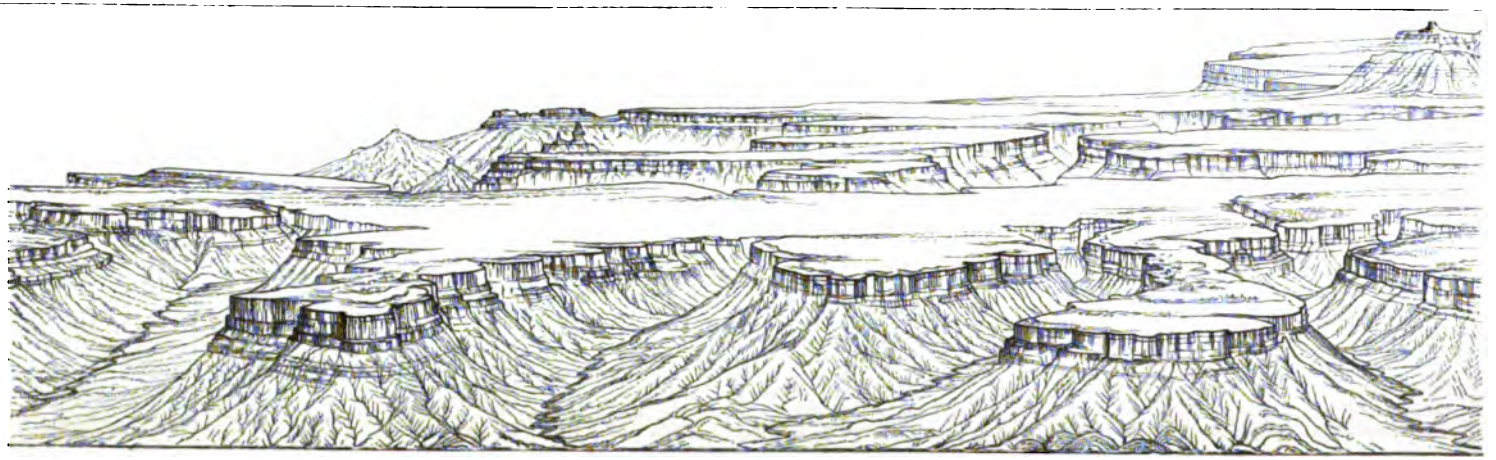
gefunden haben, durch welche die Störung und Aufrichtung der Ablagerung hervorgebracht wurde, und die man jetzt in der Regel als die Folgen der Zusammenziehung der Erde bei ihrer Abkühlung betrachtet.

Solche Störungen im normalen Schichtenbau treten meist nicht vereinzelt an einem Punkte oder auf einer kleinen Strecke auf, sondern man findet, daß die „gebirgsbildenden Kräfte" sich der Hauptsache nach gleichartig über weite Landstrecken geltend gemacht und so die Entstehung von Gebirgssystemen einheitlichen Baues veranlaßt haben, in denen sich, abgesehen von lokalen

Anſicht des Ätna. (Nach Sartorius von Waltershauſen.) Vgl. Text, S. 5.



Karwendel- und Wettersteingebirge, als Typus eines Kettengebirges, von München aus gesehen. (Nach v. Bezold) Vgl. Text, S. 10.



Südwestrand von Mesa Verde in Colorado. (Nach Holmes.) Vgl Text, S. 12.

Nebenerscheinungen, übereinstimmende Anordnung der den Aufbau beherrschenden, der „tektonischen" Linien verfolgen läßt.

Es ergibt sich dabei ein Unterschied zwischen zweierlei wenigstens in ihren Extremen sehr weit voneinander abweichenden Arten von Gebirgen, den **Kettengebirgen** und den **Massengebirgen**. Die ersteren, zu welchen Alpen, Karpathen, Apenninen, Pyrenäen, Kaukasus, Himalaja, die Anden gehören, lassen schon in ihrer äußeren Erscheinung die lineare Gruppierung deutlich hervortreten: die Längserstreckung überwiegt die Breite, und im einzelnen ordnen sich die Höhen zu langgestreckten Ketten an, in der Regel mit scharf hervortretenden Kämmen (vgl. Abbildung, S. 9). Alle deutlich ausgesprochenen Glieder dieser Gruppe scheinen geologisch jung zu sein, d. h. die Aufrichtungsbewegung in denselben reicht bis in verhältnismäßig späte Perioden der Erd-

Geknickte Kalkschichten. (Nach Green.) Vgl. Text, S. 7.

geschichte hinein, und dies ist auch der Grund, warum wir hier gerade die bedeutendste Gipfelentwickelung finden, indem die zerstörenden Kräfte noch nicht Zeit gefunden haben, diese luftigen Zinnen wieder abzutragen.

Im Gegensatz dazu zeigen die **Massengebirge**, wie der Böhmerwald, der Schwarzwald, die Vogesen ꝛc., weder durch deutlich ausgesprochene Längserstreckung noch durch scharf hervortretende Ketten in klarer Weise äußerlich eine lineare Anordnung, wenn dieselbe auch in der Lagerung der Schichten, also in der inneren Gruppierung der Gesteine deutlich ausgesprochen ist. Niedrigere Gipfel mit meist abgerundeten, sanften Formen gesellen sich zu diesen Charakteren, mit denen hohes geologisches Alter Hand in Hand geht, denn lange geologische Zeiträume sind verflossen, seitdem die Aufrichtung erfolgte; wir sehen in ihnen nur noch die Überbleibsel, die Ruinen ehemaliger bedeutenderer Entwickelung.

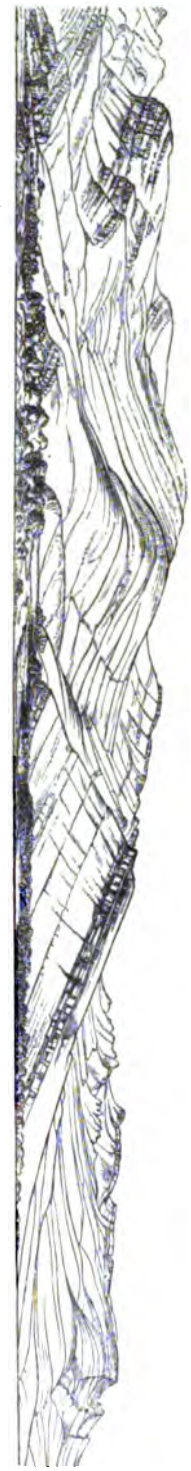
Als eine andere Äußerung derselben Kräfte, welche die Aufrichtung der Gebirge bewirken, finden wir die Bildung von **Spalten**, welche in die Tiefe reichen, die sogenannten Verwerfungen oder **Bruchlinien**, an welchen eine Verschiebung der zu beiden Seiten vorhandenen Massen stattfindet. Bald ist die Ausdehnung der Spalten und der Betrag der an ihnen stattfindenden Bewegungen sehr gering, bald lassen sich gewaltige Brüche über weite Strecken verfolgen und

Gruppe von Vulkankuppen, vom Puy de la Nobbe in der Auvergne gesehen. (Nach Scrope.)

sind große Schollen der Erdrinde an denselben in die Tiefe gesunken, an deren Stelle das Meer getreten ist; so ist es z. B. wahrscheinlich, daß das ganze Rote Meer die Stelle eines solchen Senkungsfeldes einnimmt.

Als Gefolgeerscheinungen dieser Vorgänge, sowohl der Aufrichtung der Gebirge als der Senkungen an Bruchlinien, finden wir die Erdbeben und Vulkane, welche sich in ihrem Auftreten an die großen tektonischen Linien aufs innigste anschließen. Aus den Vulkanen tritt geschmolzenes Gestein, die Lava, ferner fein zerstäubtes Material, die sogenannte Asche, an die Oberfläche, und durch die Anhäufung dieser Ausbruchstoffe türmen sich kegelförmige Berge empor, oft von gewaltiger Höhe, die aber trotzdem ihre hervorragende Gestalt keiner Aufrichtung oder Hebung, sondern lediglich der Aufschüttung verdanken. Wohl können durch das gesellige Auftreten von Vulkanen auch Berggruppen, die sogenannten Kuppengebirge, entstehen (vgl. die Abbildung links), doch sind diese ihrem ganzen Wesen und Ursprung nach von den durch Aufrichtung und Faltung der Erdrinde gebildeten Massen- und Kettengebirgen vollständig verschieden.

So gewaltige Erscheinungen aber auch die Aufrichtung eines großen Kettengebirges, das Absinken einer Scholle der Erdrinde an einer Bruchlinie sein mögen, so müssen doch selbst diese Vorgänge ihrer Bedeutung nach in die zweite Linie zurücktreten, wenn wir sie vergleichen mit den großen Hauptzügen der Oberflächengestaltung unserer Erde, mit den großen Festlandsmassen und Meeresbecken, deren Entstehung noch heute sehr schwierig zu erklären ist. Es stehen sich hier zwei Richtungen unter den Geologen gegenüber, von denen die eine annimmt, daß die Verteilung von Festländern und Meeren in der geologischen Geschichte den größten und weitgehendsten Veränderungen unterworfen gewesen sei, während die andere der Ansicht ist, daß trotz aller Umgestaltungen im einzelnen doch die großen Hauptzüge in der Verteilung von Festem und Flüssigem seit uralten Zeiten eine gewisse Beständigkeit zeigen. Mit diesen



Hügelgruppen, aus mäßig aufgerichteten Schichten aufgebaut, von Grand Creek in Colorado gesehen. (Nach Hayden.) Vgl. Text, S. 7.

Problemen steht die Frage in Zusammenhang, ob ganze Kontinente langsamen vertikalen Hebungen und Senkungen unterworfen sind, oder ob die Erscheinungen, aus welchen man auf diese Vorgänge geschlossen hat, z. B. das Auftreten alter Strandlinien hoch über dem jetzigen Meeresniveau, lediglich Veränderungen im Stande des Wassers zugeschrieben werden müssen.

Ein ganz anderes Gebiet der geologischen Vorgänge betreten wir, wenn wir die Wirksamkeit des Wassers auf der Erdoberfläche ins Auge fassen. Seine Thätigkeit ist hier vor allem eine zerstörende; unterstützt vom Temperaturwechsel und namentlich vom Froste, arbeitet es unablässig an der mechanischen Zerkleinerung und Zerstörung der Felsmassen. Durch seine eigene auflösende Kraft, noch mehr aber mit Hilfe der Kohlensäure, welche es absorbiert enthält, wirkt es chemisch auf die Gesteine und bewirkt deren Verwitterung; jeder Regentropfen, der auf festes Land fällt, ist hier thätig, jede unterirdisch sickernde Wasserader, jeder Bach und Strom so gut, ja sogar in ihrer Gesamtheit noch weit intensiver als die Brandung, welche donnernd an die Küsten schlägt und deren Steilwände unterwäscht und zerstört. Diese „Erosion" (Ausnagung) oder „Denudation" (Entblößung) ist eine der wichtigsten und bedeutsamsten geologischen Triebkräfte; kein Gestein, so hart es sei, widersteht ihr, kein Gebirge vermag ihr zu trotzen, und der Umstand, daß alle höchsten Berge der Erde noch in geologisch junger Zeit aufgerichtet oder aufgeschüttet erscheinen, rührt lediglich daher, daß die Hochgipfel aus früheren Perioden schon längst wieder abgetragen sind.

In erster Linie tiefen sich die Wasser ihre Läufe und Rinnsale im Gesteine aus, wie es die Abbildung eines Gebietes in Colorado (S. 9) übersichtlich darstellt, und schneiden dabei bald nur wenig ein, bald bilden sie Schluchten von furchtbarer Tiefe, z. B. jene berühmten „Cañons" im Flußsystem des Rio Colorado, wo der Strom sich sein Bett stellenweise bis zu 6000 Fuß Tiefe in die härtesten Gesteine eingegraben hat. Eine besonders wichtige Erscheinung stellen bei der Ausbildung solcher Einschnitte die Terrassen dar, welche deren Ränder begleiten und einzelne Perioden in dem Verlaufe dieses Prozesses bezeichnen oder durch die Einschaltung widerstandskräftiger Gesteinspartien bedingt sind.

Allein die Erosion beschränkt sich nicht darauf, Thäler auszufurchen; sie zerstört ganze Schichtensysteme vollständig oder läßt aus einem solchen nur einen einzelnen Pfeiler, eine durch besondere Widerstandskraft ausgezeichnete Partie stehen. In kleinem Maßstabe tritt dies in der Sächsischen und Böhmischen Schweiz in den allbekannten und vielbewunderten Felsbildungen hervor (s. Abbildung, S. 13), allein dasselbe wiederholt sich auch in den großartigsten Dimensionen, und in den Alpen stellt z. B. der Bergkoloß der Drei Zinnen bei Schluderbach, Tirol, (s. die beigeheftete Tafel) in seinen drei phantastisch-kühnen Pyramiden einfach drei stehen gebliebene Stücke eines ehemals über die ganze Gegend hin zusammenhängend ausgebreiteten Schichtsystems dar. Mögen im ganzen die Hauptzüge der Oberflächengestaltung unserer Erde durch die Gebirgsbildung gegeben sein, alle Einzelheiten sind jedenfalls im weitestgehenden Maßstabe das Werk der Denudation, die in wenigen Jahrmillionen alle Kontinente bis zum Meeresspiegel abtragen würde, wenn nicht auf der anderen Seite ununterbrochen wieder Ersatz für den Verlust zu Tage träte.

Nicht nur das fließende Wasser, auch das Eis ist bei dem Werke der Zerstörung geschäftig: die Gletscher, welche aus den Hochregionen der bedeutenderen Gebirge zu Thal gleiten, sowie die Inlandeismassen der polaren Gegenden nutzen das Gestein ihrer Unterlage ab, tragen Felsblöcke in die Tiefe und lagern sie in den sogenannten Moränen ab. Noch sind allerdings die Meinungen bezüglich der Rolle, welche der Wirkung des Eises in der Geschichte der Erde zuzuschreiben ist, sehr geteilt; aber jedenfalls gehört es zu den interessantesten Faktoren der geologischen Veränderungen.

Die Drei Zinnen bei Schluderbach in Tirol. (Nach Photographie.)

Die geschichteten Gesteine haben sich unter Wasser abgelagert und dabei die Reste von Tieren und Pflanzen umhüllt, die in diesem gelebt haben oder in dasselbe eingeschwemmt worden sind. Soweit diese Körper überhaupt einer Erhaltung fähig waren, finden wir sie nun als Fossilien oder Versteinerungen wieder, und sie bilden den Gegenstand des paläontologischen Studiums. Ihre Deutung bietet in vieler Beziehung große Schwierigkeiten, namentlich deswegen, weil alle zarteren Teile, vornehmlich die Weichteile der Tiere, fast immer spurlos verschwunden sind. Immerhin gelingt es, zu zeigen, daß eine ungeheure Menge ausgestorbener Formen, teils den jetzt lebenden nahe verwandt, teils von ganz eigentümlichem Gepräge, in der Vorzeit die

Der Prebischkegel in der Sächsischen Schweiz. (Nach Photographie.) Vgl. Text, S. 12.

Erde bewohnt hat, und der Vergleich mit den verwandten Typen der heutigen Schöpfung läßt die Bedeutung wenigstens der Mehrzahl unter ihnen mit genügender Sicherheit erkennen. Indem wir nun die Aufeinanderfolge der abgelagerten Sedimente und der Fossilarten in denselben studieren und die Vorkommnisse verschiedener Gegenden miteinander vergleichen, finden wir, daß in dieser Beziehung strenge Gesetzmäßigkeit herrscht. So gelingt es, einzelne größere und kleinere Abschnitte der Erdgeschichte zu unterscheiden und ein vollständiges chronologisches System aufzustellen, dessen Ermittelung die Aufgabe der historischen Geologie ist.

Handelte es sich in den bisher geschilderten Arten der Untersuchung um die Gesetze, nach welchen der Aufbau der Erdrinde erfolgt, die Vorgänge hierbei und die Materialien dazu, so ist es die Aufgabe eines anderen Zweiges unserer Wissenschaft, der topographischen Geologie, die Zusammensetzung der einzelnen Gebiete zu untersuchen und eine Übersicht der Zusammensetzung der einzelnen Ländergruppen und Gebirge herzustellen. Wohl ist vieles in dieser Richtung geschehen, aber es sind doch verhältnismäßig nicht sehr große Teile der trockenen Erdoberfläche,

über deren Bau wir genaue Rechenschaft zu geben vermögen, während die größten Räume noch gar nicht oder nur in den flüchtigsten Zügen bekannt sind.

Wir haben nun die wichtigsten Gegenstände geologischer Forschung kennen gelernt, soweit sie sich auf rein theoretischem Gebiet hält; allein eine großartige Erweiterung erfahren ihre Aufgaben durch die Menge der wichtigsten Beziehungen zum praktischen Leben. In erster Linie stellt die Lehre von den Lagerstätten nutzbarer Mineralstoffe, seien es Kohlen, Petroleum, Erze der verschiedensten Art, Schwefel, Gips, Phosphorit, oder Bausteine, Zementmergel, Kalk und Sand, einen Teil der Geologie dar, und kein Bergmann kann ohne deren genaue Kenntnis in seinem Fache etwas leisten; ja, es sollte rationellerweise keine größere technische Anlage in irgend einer der genannten Richtungen unternommen werden, ohne daß das besondere Urteil eines Geologen über den mutmaßlichen Wert der auszubeutenden Lagerstätte eingeholt worden wäre; für den Ingenieur, welcher Eisenbahn- oder Kanalbauten unternimmt, ist die geologische Kenntnis des Terrains, das er durchschneiden soll, unerläßlich; selbst bei der Bestimmung der Bahntracen wird in vielen Fällen die geologische Beschaffenheit des Gebietes von ausschlaggebender Bedeutung sein; für alle Quellen- und Wasserversorgungsfragen kann nur die Geologie eine zweckmäßige Unterlage der Entscheidung liefern, und dem Landwirt gibt sie die unentbehrlichen Elemente für die Bodenkunde an die Hand.

So sehen wir die Geologie, und mit ihr, wiewohl in zweiter Linie, die Paläontologie, in zahllose Verhältnisse des praktischen Lebens eingreifen, und diesem Umstande verdanken beide Wissensgebiete zum Teil ihren raschen Aufschwung. Nicht nur, daß der Bergmann, der Ingenieur und viele andere mannigfach selbst beobachtend und sammelnd zur Vermehrung der Menge der bekannten Thatsachen und des theoretischen Wissens beitragen, sondern die allgemein Platz greifende Überzeugung von dem materiellen Nutzen, den die Pflege dieser Wissenszweige gewährt, hat auch in den meisten zivilisierten Staaten Veranlassung gegeben, daß bedeutende Geldmittel für geologische Untersuchungen aufgewandt und dadurch zahlreichen Forschern ermöglicht wurde, ihre Studien im Felde in großem Maße durchzuführen.

Geschichte der Geologie.

Es ist befremdend, daß Wissenschaften von so hoher Bedeutung wie die Geologie und Paläontologie, die sich überdies nicht selten mit Erscheinungen und Verhältnissen der augenfälligsten Art aus unserer steten, unmittelbarsten Umgebung beschäftigen, erst spät zum Gegenstand rationeller Studien gemacht worden sind. Wohl fällt ein großer Teil der Schuld auf den unduldsamen Geist des Mittelalters, der jeden hier so naheliegenden Widerspruch gegen die mosaische Tradition zu einem großen persönlichen Wagnis werden und manchen Forscher seine unabhängige Meinung auf dem Scheiterhaufen büßen ließ; doch genügt das nicht zur vollen Erklärung, zumal da wir finden, daß schon im Altertum die Erkenntnis in dieser Richtung eine verhältnismäßig geringe war. Ja, wenn wir die allmähliche Entwickelung von Geologie und Paläontologie zu ihrer jetzigen Ausbildung zu schildern versuchen, so können wir dabei die Leistungen des Altertums fast ganz außer acht lassen. Käme es darauf an, eine Geschichte der Wissenschaften bei Griechen und Römern zu schreiben, so müßten natürlich die Spuren einer Forschung in unseren Fächern genau verfolgt werden; wo es sich aber darum handelt, nachzuweisen, in welcher Zeit unsere Auffassung wurzelt, und was auf sie von Einfluß gewesen ist, da wird nur wenig aus jener Zeit zu nennen sein, und dieses wenige hat wesentlich hemmend und verzögernd auf die spätere Entwickelung gewirkt.

Allerdings darf als sicher angenommen werden, daß die Kenntnisse der Alten in der Geologie nicht ganz so gering waren, wie sie uns nach den erhaltenen naturwissenschaftlichen Schriften scheinen mögen, und daß aus dem Schiffbruch der alten Litteratur nur verhältnismäßig wenig hierher Gehöriges gerettet worden ist. Die Schöpfungssagen der Hebräer und Ägypter lassen uns erraten, daß ihr Ursprung bei einem Volke zu suchen sei, welches die Natur zu beobachten und aus ihren Erscheinungen Schlüsse abzuleiten wußte; die bekannten Stellen aus Herodot über die Ansichten, welche die Ägypter über die Anschwemmung ihres Landes durch den Nil hegten, zeigen, daß jenes merkwürdige Volk in dieser Richtung weiter fortgeschritten war als irgend ein anderes im Altertum. Vielleicht wird irgend eine jener morschen Papyrusrollen, deren Entzifferung noch aussteht, uns auch in dieser Richtung ebenso überraschende Kunde bringen, wie wir mancher anderen schon die interessantesten Aufschlüsse verdanken. Für die spätere Entwickelung der Wissenschaft bei uns aber sind die Forschungen der Ägypter nur mittelbar von Einfluß gewesen, insofern sie nämlich solchen auf die mosaischen Berichte oder auf die Anschauungen der Griechen und Römer geübt haben.

Daß bei diesen die wenigen geologischen Auffassungen, denen wir begegnen, von fremder Einwirkung der alten Kulturvölker aus dem Tieflande des Euphrats oder des Nils wenigstens teilweise bedingt waren, wird jetzt wohl ziemlich allgemein anerkannt, und vor allem mag das von der halb mythisch gewordenen Persönlichkeit des Pythagoras und von seiner berühmten Schule gelten. Sie lehrten, daß die äußere Gestalt der Erde steten Veränderungen unterworfen sei, daß stellenweise das Land sich unter das Meer senke, an anderen Stellen dagegen aufsteige, daß Vulkane abwechselnde Perioden der Ruhe und der Thätigkeit zeigen ꝛc.

Von anderen waren ähnliche Schlüsse über die Verteilung von Wasser und Land aus dem Vorkommen von Versteinerungen gezogen worden, und so finden wir zerstreut richtige Ahnungen und unmögliche Vorstellungen von der Beschaffenheit der Erde und den Veränderungen, denen sie unterworfen ist. Wir bewundern auch hier die Spuren des Geistes, der die Griechen auf anderen Gebieten die Lehrmeister der Welt werden ließ; aber auf dem Felde der Geologie mußten sie am Mangel systematischer Naturbeobachtung scheitern. Zu den denkwürdigsten Erscheinungen gehört es aber, daß schon unter den hellenischen Denkern zwei Vorläufer der Lehre Darwins auftreten. Anaximander, der im Jahre 610 vor Christo geboren war, lehrte, daß der Mensch von anders gearteten Geschöpfen abstammen müsse, da alle Tiere sich leicht ihren Unterhalt verschaffen können, nur der Mensch nicht, und dieser hätte sich nicht zu erhalten vermocht, wenn er ursprünglich so in die Welt gesetzt worden wäre, wie es jetzt geschieht; er nimmt an, daß der Mensch von Fischen oder diesen ähnlichen Wasserbewohnern abstamme. Leider wissen wir nichts Genaueres von der Lehre dieses Philosophen, da seine Werke verloren gegangen sind und uns der erwähnte Ausspruch nur durch zufällige Citate bei einem Kompilator aus sehr viel späterer Zeit überliefert ist.

Noch merkwürdiger sind vielleicht die Ansichten, welche der größte Naturforscher des griechischen Altertums, Aristoteles, über einen verwandten Gegenstand äußerte. Bei ihm sehen wir schon eine erste Andeutung des Grundprinzips von Darwin, der Lehre von der natürlichen Zuchtwahl. Er sagt, daß gewisse Vorgänge in der Natur nicht stattfinden, um einen bestimmten uns plausibel scheinenden Endzweck zu erfüllen, daß der Regen nicht niederfällt, um das Korn wachsen zu machen, sowenig, als er fällt, um das Korn zu verderben, wenn es unter freiem Himmel gedroschen wird; ebenso stehe der Annahme nichts im Wege, daß die einzelnen Teile der Organismen sich nicht bilden, um einen bestimmten Lebenszweck zu erfüllen, sondern daß dieselben in der verschiedensten Weise bald zweckmäßig, bald unzweckmäßig entstanden seien; allein nur diejenigen Formen, bei welchen das erstere der Fall war, hätten sich erhalten, während die anderen zu Grunde gegangen seien oder noch jetzt zu Grunde gingen.

Auch in mancher anderen Richtung finden wir bei Aristoteles eine bedeutende Auffassung einzelner geologischer Thatsachen. Er berichtet von Seen, die ausgetrocknet sind, von den Fortschritten der jährlichen Anschwemmung im Nilbelta und spricht von Hebungen und Veränderungen des Landes, die jedoch so langsam vor sich gehen, daß sie innerhalb eines Menschenlebens keine merkbaren Resultate hervorbringen. Allein nicht in allen Dingen war der große Forscher aus Stagira so glücklich, und namentlich im Bezug auf die Versteinerungen scheint er minder richtige Anschauungen gehegt zu haben als manche seiner Vorgänger; wohl nur beiläufig erwähnt er, daß die bei Heraklea in Kleinasien vorkommenden versteinerten Fische aus hinterlassenem Samen von Seefischen an Ort und Stelle entstanden sein könnten. Es wird niemand einfallen, wegen einer nur nebenbei geäußerten irrigen Ansicht den Ruhm des großen Mannes antasten zu wollen; ihm fällt die Schuld nicht zu, daß eine derartige Idee von einer späteren Zeit begierig aufgegriffen und in allen möglichen und unmöglichen Weisen variiert wurde. Aber Thatsache ist es, daß diese seine Auffassung die Anschauungen im Mittelalter und im Beginn der modernen Zeit aufs stärkste beeinflußte und Veranlassung zu fast unausrottbaren Irrtümern gab, die mehr als zweitausend Jahre nach Aristoteles sich erhielten, ja selbst in unserem Jahrhundert noch einen Anhänger unter den Geologen gefunden haben.

Beim Wiedererwachen der Wissenschaften nach den Stürmen der Völkerwanderung und ihren Nachwehen beschränkte sich die Naturforschung lange Zeit hindurch auf das Studium der Überlieferung aus alter Zeit, vor allem der mosaischen Tradition und der Werke des Aristoteles. Aus jeder dieser beiden Quellen erhielt die geologische und paläontologische Richtung fast nur verderbliche Angebinde, aus der einen die Lehre von der Erschaffung der Welt in sieben Tagen und von der noachitischen Sintflut, aus der anderen die Ansicht, daß die Versteinerungen nicht Reste von Tieren seien, die einst wirklich gelebt haben, sondern daß sie im Gestein selbst durch irgend welche sehr verschieden gedeutete Vorgänge entstanden, daß sie Naturspiele seien.

Letztere Vorstellung finden wir schon im 11. Jahrhundert bei dem arabischen Arzte und Naturforscher Ibn Sina (Avicenna) vertreten, der in seinem Werke über die Einteilung und Bildung der Steine annimmt, daß eine besondere plastische Kraft die Versteinerungen im Inneren der Erde hervorgebracht habe. Diese Meinung fand im Abendland von Albertus Magnus im 13. Jahrhundert an zahlreiche Anhänger; bald waren die Versteinerungen Naturspiele, bald waren es die ersten Versuche des Schöpfers, der seine Geschicklichkeit zunächst an derartigen Mineralgebilden versuchte, ehe er sich an die Erschaffung wirklicher, belebter Wesen wagte. Fallopio erklärte fossile Elefantenzähne und sogar die Topfscherben des Monte Testaccio bei Rom für erdige Konkretionen, und Agricola meinte, daß die im Felsen eingeschlossenen Muscheln durch den Einfluß der Wärme aus der zähen und dicklichen Materie entstanden seien, während er allerdings in den Knochen, Blatt- und Fischabdrücken die Reste ehemaliger Tiere und Pflanzen erkannte, die durch einen Steinsaft erhärtet worden seien. Ein anderer schrieb die Entstehung der Versteinerungen dem Einfluß der Gestirne zu, und noch im vorigen Jahrhundert hatte die Theorie viele Anhänger, daß vom Meere her eine Samenluft wehe, die in den Gesteinen die „Figurensteine" erzeuge; ja, ein Reisender hielt die Ruinen einer Stadt mit ihren Marmorstatuen, die er in der Wüste der Kyrenaika in Nordafrika auffand, für eine derartige Bildung.

Es ist fast unglaublich, daß solche Ansichten sich so lange halten konnten. So tief eingewurzelt waren diese Vorurteile, daß sie selbst in unserem Jahrhundert noch Vertreter fanden und ein namhafter Geolog die Versteinerungen für „nie geborene Embryonen von Organismen einer früheren Erdperiode" erklärte. Indessen ist es für jene Zeiten, wo richtige naturhistorische Auffassung noch kaum vorhanden war, ganz begreiflich, wie eine derartige Meinung entstehen konnte. Man sah z. B. die verschiedenen Farbenzeichnungen des Achats, des Marmors, in denen sich bei

einiger Phantasie leicht Bilder von Menschen und Tieren, von Landschaften und allen möglichen anderen Dingen finden ließen; diese konnten doch nicht wirkliche Versteinerungen ehemals selbstständig existierender Körper sein. Die Stadt mit Türmen (ein Stück sogenannten Ruinenmarmors, vgl. untenstehende Abbildung) mußte offenbar eine zufällige Bildung sein, und da die Möglichkeit solcher Vorkommnisse einmal gegeben war, so lag es immerhin nahe, auch in den eigentlichen Versteinerungen ähnliche Erscheinungen zu sehen.

So verbreitet aber auch die Ansicht war, daß man es nur mit „Figurensteinen" zu thun habe, so fand sie doch sehr entschiedene Gegner; vor allen war es die Schule der „Diluvianer", welche ihr entgegentrat und die Versteinerungen als Überreste der noachitischen Flut erklärte. Die durch Jahrhunderte fortgesetzte Kontroverse über diese Frage scheint der Neapolitaner Alexander ab Alexandro (15. Jahrhundert) eröffnet zu haben, welcher behauptete, daß die fossilen Muscheln, die sich in den kalabrischen Bergen finden, von der großen Sintflut herrühren, nachdem Orosius

Ein Stück sogenannten Ruinenmarmors, von Kircher als eine Stadt mit Türmen ergänzt.

schon im 5. Jahrhundert eine ähnliche Ansicht ausgesprochen hatte. Es ist natürlich, daß zu einer Zeit, in welcher die Theologie alle Wissenschaften beherrschte und die religiöse Frage bei fast allen Forschungen die wichtigste war, diese Ansicht, die eine handgreifliche Bestätigung des biblischen Berichts zu liefern schien, mit großem Beifall aufgenommen wurde und eine große Menge von Anhängern fand. Freilich, daß die Erklärung falsch war, kann ebensowenig einem Zweifel unterliegen, wie es heute feststeht, daß nie seit der Anwesenheit des Menschen auf Erden eine große, allgemeine Flut hereingebrochen ist. Trotzdem hat die Sintfluttheorie doch den einen großen Vorzug vor derjenigen ihrer Gegner, daß sie wenigstens in den Versteinerungen die Reste von Organismen, von wirklichen Pflanzen und Tieren anerkannte.

Die Diluvialtheorie gewann mehr und mehr Boden, und wenn sie im 16. Jahrhundert noch nicht die Oberhand hatte, so scheint doch im 17. die Mehrzahl ihr angehangen zu haben und ebenso zu Anfang des 18. Jahrhunderts, wo sie durch eine Reihe ausgezeichneter Forscher, wie Woodward, Bayer, Scheuchzer und andere vertreten war. Der letztere namentlich verteidigte seine Überzeugung mit größtem Eifer und wahrer Begeisterung und bekämpfte die Ansicht, daß die Versteinerungen nur Naturspiele seien. In seiner Schrift „Piscium querelae et vindiciae" läßt er die fossilen Fische unter ihrem Anführer und Vorkämpfer, einem gewaltigen Hecht aus den Steinbrüchen von Öningen, in einer langen lateinischen Rede sich über das bittere

Unrecht beklagen, das ihnen geschehe; erst wären sie ohne die geringste Schuld von ihrer Seite bei der Sintflut kläglich zu Grunde gegangen, und jetzt wolle man sie nicht einmal als das, was sie seien, anerkennen, sondern für mineralische Stein- und Mergelgeburten erklären. Später glaubte Scheuchzer sogar in einem fossilen Riesensalamander in Öningen einen jener verruchten Menschen gefunden zu haben, die bei der Sintflut untergegangen waren, und besang ihn in schwungvollen Versen. „Ein recht seltenes Denkmal jener verfluchten Menschengeschlechter der ersten Welt. Die Abbildung gibt zu erkennen den umcreyß des Stirnbeins, die Augenleisen, das Loch an der unteren Augenleise, welches dem großen Nerven vom fünften Paar den Durchpaß gibt, Überbleibsel des Gehirns, das Jochbein, etwas übriges von der Nasen, ein ziemlich Stück von denen kauenden Mäuslein, weiter 16 Rückgratwirbel und Anzeigen der Leber.

Betrübtes Beingerüst von einem armen Sünder,
Erweiche Stein und Herz der neuen Bosheitskinder."

Man kann sich kaum des Bedauerns erwehren, wenn man sieht, daß ein so verdienstvoller und tüchtiger Naturforscher wie Scheuchzer sich von der Begeisterung für eine Vorstellung so weit vom rechten Wege hat ablenken lassen; unter seinen Zeitgenossen aber brachten ihm gerade diese Schriften vielleicht mehr Ruhm als seine anderen wirklich wichtigen und bedeutenden Untersuchungen, durch die er der Vater der Alpenforschung geworden ist. Noch nach ihm dauerte der Kampf der beiden Schulen fort, bis die Ansichten der einen wie der anderen, ohne widerlegt zu sein, vor einer richtigeren Erkenntnis verschwanden und in Vergessenheit gerieten.

Es ist das eine merkwürdige, sich immer wiederholende Erscheinung in der Geschichte der Wissenschaft: eine neue und richtige Auffassung, die sich nicht auf neues handgreifliches Material von Thatsachen, sondern auf eine bessere Deutung schon bekannter Beobachtungen stützt, gelangt nicht dadurch zur allgemeinen Annahme, daß die Gegner durch die Macht der Gründe widerlegt und überzeugt werden, sondern dadurch, daß dieselben aussterben und die junge Generation die neue Theorie als selbstverständlich annimmt, so daß eine solche in der Regel ein Menschenalter braucht, um sich Eingang zu verschaffen.

Wohl fehlte es selbst in früher Zeit nicht an Männern, die eine bessere Ansicht vertraten, als die der beiden herrschenden Schulen war, und merkwürdigerweise fand sich diese richtigere Auffassung nicht bei zünftigen Gelehrten, sondern bei denkenden Laien, welche unbeirrt von Schulmeinungen die Sachen einfach mit klarem Blicke so ansahen, wie sie waren. Es ist allbekannt, daß der erste (oder einer der ersten), welcher eine natürliche Vorstellung von der Entstehung der Versteinerungen hatte, einer der größten Künstler aller Zeiten war, Leonardo da Vinci (gest. 1519), der bei Kanalbauten, die er in seiner Jugend leitete, reiche Lager fossiler Muscheln gefunden hatte. Er schloß daraus, daß das Meer einst höheren Stand gehabt als jetzt, und daß in ihm jene Muscheln gelebt hätten, während er aus dem Mitvorkommen abgerollter Kiesel folgerte, daß damals in der Nähe ein Fluß ins Meer mündete, der Rollsteine mitbrachte.

In derselben Weise äußerte sich etwas später Fracastoro, und in Paris forderte im Jahre 1580 Palissy, ein intelligenter Fabrikant, die ganze Universität zur Disputation über die Natur der Versteinerungen heraus; allein alle diese Meinungen blieben vereinzelt und ungehört, das 15. und 16. Jahrhundert waren ihnen nicht günstig. Selbst im 17. Jahrhundert konnten sie noch nicht allgemein Platz greifen, wenn ihnen auch in einer Reihe bedeutender Forscher, wie Fabio Colonna, dem in Florenz lebenden Dänen Steno und anderen sehr bedeutende Vertreter erwuchsen. Erst die letzten Jahre des 17. und das 18. Jahrhundert sahen die Wahrheit zum Durchbruch kommen; aber auch in dieser Periode noch finden wir bei allen Schriftstellern immer die äußerste Mühe angewandt, um die entgegenstehenden Meinungen zu widerlegen, und so ringt sich allmählich durch die Werke von Leibniz, Spener, Hooke, Vallisneri, Spada

und anderen die Überzeugung zur Anerkennung hindurch, daß die Versteinerungen wirklich Reste von Tieren und Pflanzen seien, die in früher Urzeit auf der Erde lebten, und deren Ablagerungen mit den Fluten der alten Völkersagen nichts zu thun haben.

Wie in der Deutung der Versteinerungen, so machte sich auch in den wenigen anderen Versuchen, geologische Vorgänge zu erforschen, noch wenig richtige Anschauung geltend. Ein wesentlicher Hemmschuh war vor allem der mosaische Schöpfungsbericht, bei der Mehrzahl unmittelbar durch die überwältigende Autorität, deren er sich erfreute, bei der Minderheit durch die Furcht vor den verhängnisvollen Folgen, welche ein Widerspruch jedem, der ihn wagen würde, zu bringen drohte. Jahrhundertelang blieb dieser Gesichtspunkt maßgebend, unter schweren Kämpfen mußte sich endlich die Geologie ihre Unabhängigkeit erringen, und noch heute ist in vielen Kreisen die Ansicht verbreitet, daß jeder Zwiespalt, der sich hier zwischen Forschung und Tradition ergebe, im höchsten Grade bedauerlich sei. Die einen suchen noch immer die verschiedenen Ergebnisse der Geologie mit dem biblischen Bericht in Einklang zu bringen, während die anderen in jener eine gefährliche und profane Wissenschaft sehen, die auf Abwege geraten sei.

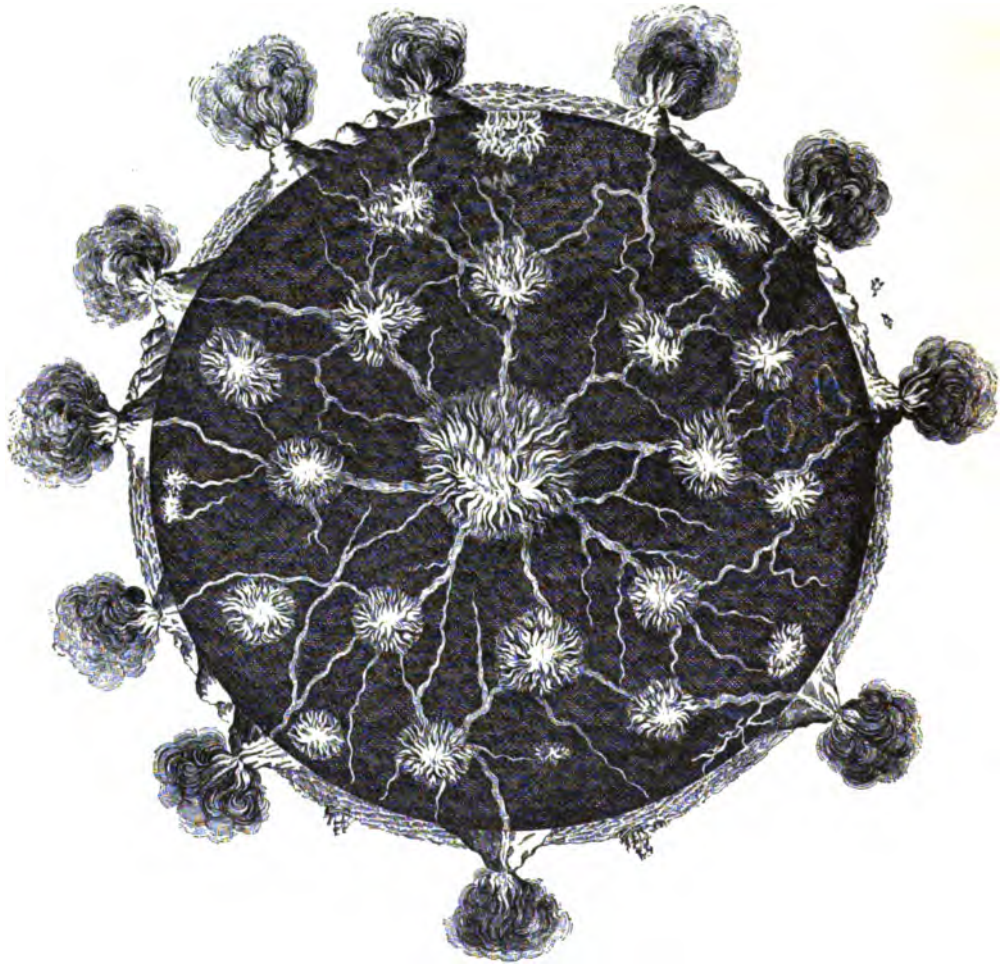
Eine solche Auffassung ist schwer zu verstehen; man begreift nicht, wie Religion und Autorität der Bibel dadurch gefährdet sein sollen, daß man in den ersten Kapiteln der Genesis einfach die pietätvolle Sammlung alter Stammessagen der Hebräer sieht, statt in der kindischen Deutung zu beharren, daß man es mit einem in seiner Kürze und vielfach allegorischen Fassung unverständlichen Kompendium der Geologie zu thun habe. Der Glaube hat durch die Erkenntnis, daß die Erde sich um die Sonne bewegt, keinen Schaden genommen, und der Gläubige wird in seiner Überzeugung nicht gestört werden, wenn das Sechstagewerk sich als wissenschaftlich unhaltbar erweist.

Wie dem auch sei, hier lag das große Hindernis für eine gedeihliche Entwickelung der Geologie. Es verlohnt sich kaum der Mühe, jene Anschauungen eingehend zu besprechen, da sie doch nichts weiter enthalten als eine dürftige Umschreibung des mosaischen Berichts. Der erste Forscher, der eine selbständige und in vieler Beziehung richtige Ansicht entwickelte, war Steno (1669), den wir schon früher als einen der ersten kennen gelernt haben, welche die Bedeutung der Versteinerungen richtig erfaßten; er beachtete genau die Schichtung, die er der Ablagerung aus dem Wasser zuschrieb, und folgerte, daß alle Schichten ursprünglich horizontal gelagert gewesen und daß geneigte Schichten durch spätere geologische Vorgänge vulkanischer Natur aufgerichtet worden seien. Er unterschied zwischen marinen und Süßwasser-Ablagerungen, wie schon Fabio Colonna vor ihm gethan; aus der Beobachtung der Lagerungsverhältnisse suchte er eine Art geologischer Chronologie abzuleiten und den Beweis zu führen, daß Toscana, mit dessen Studium er sich beschäftigt hatte, in der Vorzeit zweimal vom Meere bedeckt, zweimal eine niedere Ebene und zweimal Bergland gewesen sei. Wohl sind auch hier in den Einzelheiten große Fehler vorhanden und viele Beobachtungen und Deutungen unrichtig, aber es ist wenigstens der Versuch gemacht, eine auf Beobachtung sich stützende einheitliche Auffassung der Erscheinungen zu geben, die denn auch in einigen Punkten das Richtige traf. Steno hat es wohl verdient, daß ihm, wie der internationale Geologenkongreß in Bologna 1881 beschloß, ein Denkmal auf das Grab gesetzt wird.

Noch höher steht mit seinen geologischen Ansichten der große Leibniz (1680), der eine der heutigen schon ziemlich nahekommende Auffassung von der Bildung unseres Planeten hatte. Nach ihm war anfangs die Erde in geschmolzenem Zustand, aus dem sie sich dann durch allmähliche Abkühlung zu einer festen Kugel verdichtete; dabei entstanden die ursprünglichen, meist glasigen Gesteine, worunter allerdings auch der Quarz als ein Glas figurierte. Als die Erde genügend abgekühlt war, schlug sich das Wasser in tropfbarflüssiger Gestalt nieder und bildete die Meere,

in denen ſich die geſchichteten Geſteine abſetzten, und die urſprünglich die ganze Erdoberfläche bedeckten. Erſt allmählich verſank ein Teil des Waſſers in Hohlräume, die ſich im Inneren der Erde bei der Erſtarrung wie Blaſen gebildet hatten und nun einſtürzten. Auf dieſe Weiſe ſeien durch längere Zeiträume Veränderungen vor ſich gegangen, bis endlich der heutige Gleichgewichtszuſtand hergeſtellt war.

Im Gegenſatz dazu nahm der gelehrte Jeſuit Athanaſius Kircher in Bezug auf den Urſprung der Erde ganz den Wunderſtandpunkt ein, aber daneben finden wir bei ihm doch



Anſicht des Erdinneren und ſeines Zuſammenhanges mit den Vulkanen. (Kopie nach Athanaſius Kircher.)

eine Reihe wichtiger und intereſſanter Beobachtungen und Anſichten. So erinnert die Art und Weiſe, wie er ſich das Vorhandenſein einzelner „Pyrophylacien" dachte, Partien geſchmolzener Geſteine, die im Inneren der Erde befindlich ſind und die Vulkane ſpeiſen (vgl. obenſtehende Abbildung), ſehr lebhaft an ähnliche Vorſtellungen, welche in unſerer Zeit große Verbreitung gefunden haben. Ein anderer Gedanke, der in unſerem Jahrhundert durch Elie de Beaumont in extremer Weiſe ausgebildet worden iſt, die Idee, daß die Gebirge der Erde nach einer Anzahl geſetzmäßig verlaufender Linien ſtreng geometriſch angeordnet ſeien, tritt bei Kircher zum erſtenmal auf, und ebenſo finden wir hier die erſte Nachricht von thatſächlichen Beobachtungen, daß

die Erde nach der Tiefe zu, z. B. in Bergwerken, wärmer werde. Rechnen wir dazu noch die Beschreibung des großen kalabrischen Erdbebens vom Jahre 1638 und die Schilderung der unteritalienischen Vulkane, die leider durch höchst naturwidrige Abbildungen von Ätna und Vesuv verunziert ist, so werden wir jedenfalls dem Verfasser des „Mundus subterraneus“ einen ehrenvollen Platz in der geologischen Litteratur des 17. Jahrhunderts anweisen müssen.

Von Engländern sind hier Hooke (1668) und der berühmte Zoolog Ray (1692) zu nennen, zwei Männer, die ihrer Zeit weit vorangeeilt waren und außerordentlich richtige, wenn auch nicht selten arg mit irrigen Vorstellungen gemischte Ideen zum Ausdruck brachten. Sie sprachen bereits von der Möglichkeit, aus den Tierresten der aufeinander folgenden Schichten eine Geschichte der Organismen zu rekonstruieren, die allerdings nur die Zeit von Adam bis zur Sintflut umfassen sollte; aus der Form mancher Fossilien folgerte Hooke, daß in früherer Zeit in England ein wärmeres Klima als jetzt geherrscht habe.

So sehen wir auch auf diesem Gebiete allmählichen Fortschritt. Auf der Grenze zwischen der älteren und neueren Periode in der Entwickelung der Naturgeschichte tritt uns Buffon entgegen, der um die Mitte des vorigen Jahrhunderts in glänzender Weise den vorgeschrittensten Standpunkt der damaligen Zeit vertrat, indem er, namentlich gestützt auf die Beobachtungen Guettards, eines der früheſten Geologen im modernen Sinne, eine der jetzigen schon vielfach naheſtehende Auffassung vertrat und sich von der mosaischen Tradition mit voller Entschiedenheit lossagte, ein Verdienst, das selbst durch den Widerruf, zu dem er sich später verleiten ließ, kaum geschmälert wird.

Die neue Entwickelung der Geologie wurde zunächst dadurch angebahnt, daß die genaue, ins einzelne gehende Beobachtung der Natur eine Ausdehnung und Bedeutung gewann, von der man in früherer Zeit keine Ahnung gehabt hatte. Finden sich in Werken älterer Zeit in weit ausgesponnenen theoretischen Auseinandersetzungen höchstens einzelne Beobachtungen als Belege eingestreut, so gewinnt jetzt die wissenschaftliche Beobachtung in der Natur das Übergewicht. Wir haben schon den Franzosen Guettard angeführt, von Engländern sind Mitchell und Packe, der Verfasser der ersten geologischen Karte, von Italienern Arduino (1759) zu nennen; vor allen aber waren es zwei deutsche Forscher, Lehmann (1756) und Füchsel (1762), welche sich durch ihre genauen Studien über die Lagerung und Aufeinanderfolge der geschichteten Gebilde die größten Verdienste erwarben und den Grund legten, auf dem dann das Gebäude der modernen Geologie aufgeführt wurde.

Der große Mann, welchem die wissenschaftliche Geologie oder Geognosie ihr Bestehen verdankt, ist am Anfang dieses Kapitels genannt: Gottlob Abraham Werner, geboren am 25. September 1750 zu Wehrau am Queis (Lausitz), gestorben am 30. Juni 1817 in Dresden, der berühmte Lehrer an der Freiberger Bergakademie, dessen Schule sich über die ganze Welt verbreitete, und dem es beschieden war, zwei Größen wie Alexander von Humboldt und Leopold von Buch in die Wissenschaft einzuführen.

Werner war in erster Linie ein klarer, ordnender Kopf wie Linné; was dieser für die Botanik und Zoologie, leistete jener für die Mineralogie und Geologie. Beide waren scharfe Beobachter, beide fühlten, was einer gesunden Entwickelung ihrer Wissenschaften vor allem not that, beide gaben ein festes System, das die früheren Beobachtungen zusammenfassen, den künftigen als Ausgangspunkt dienen sollte. Sie schufen neue Bezeichnungsweisen, neue Methoden und können sich rühmen, zu einem ans Wunderbare grenzenden Aufschwung Anstoß gegeben zu haben. Sie beherrschten das Wissen und die Ideen ihrer Zeit, sie waren die anerkannten Führer auf ihren Gebieten, wenigstens solange sie in ihrer Vollkraft standen; aber keinem von beiden war ein tiefes Eindringen in die Ursachen oder jener geniale Schwung gegeben, der stellenweise über

die Grenze der Erfahrung und den Horizont der Zeitgenossen mit kühnen, jedoch glücklichen und richtigen Analogieschlüssen hinausgreift und eine der Mitwelt noch unverständliche Wahrheit ahnt und verkündet.

Zunächst stellte Werner ein System der Mineralogie auf, das bis dahin noch fehlte, und wirkte dadurch in hohem Grade fördernd auf diesem Gebiet; dann wandte er sich der Gesteinslehre zu und gab den bis dahin oft recht willkürlich angewandten Namen, wie Granit, Syenit, Gneis, Basalt, Grauwacke, eine ganz bestimmte Bedeutung, wodurch erst eine präzise Behandlung und die wissenschaftliche Vergleichung verschiedener Gegenden möglich wurden. Nächstdem war es die Schichtung und die Art ihres Auftretens, der Werner seine Aufmerksamkeit zuwandte, die er schärfer beobachtete; er hob die Wichtigkeit des Streichens und Fallens geneigter Schichten hervor und unterschied zwischen gleichmäßiger und ungleichmäßiger Lagerung. Wohl waren das keine unbedingten Neuerungen, manche dieser Methoden hatte man schon vor ihm angewandt, aber er bildete dieselben weiter aus und führte deren allgemeinen Gebrauch herbei. Hand in Hand damit ging die Einteilung der sämtlichen Gesteine in nach Zeit und Lagerung aufeinander folgende große Gruppen, die „Formationen", ein Begriff, den Werner von Füchsel übernahm, wie er denn überhaupt in der Aufstellung der Reihenfolge der Schichtgesteine nicht sehr weit über Lehmann und Füchsel hinausging.

Das sind die großen Verdienste, durch die sich Werner den Namen des Vaters der Geologie wohl erworben hat, und es ist bezeichnend für die neue Richtung der Wissenschaft, welche die Beobachtung in ihre Rechte einsetzte, daß das die Welt beherrschende System seinen Ursprung nicht großen Reisen und ihren den Blick erweiternden Eindrücken, nicht dem Überblick über große Verhältnisse, sondern der eingehendsten Vertiefung in die örtliche Entwickelung eines kleinen Bezirks, des Erzgebirges, verdankt.

Minder glücklich war Werner in seinen theoretischen Spekulationen. Als die Unterlage, auf der alle jüngeren Bildungen sich abgelagert hätten, betrachtete er das „uranfängliche Gebirge" oder „Grundgebirge", den Granit, Gneis, Glimmerschiefer, Thonschiefer, Porphyr 2c., worauf die große Masse des „Flözgebirges" und endlich das „aufgeschwemmte Gebirge" folgte. Alle diese Bildungen, mit Ausnahme des Grundgebirges, haben sich nach ihm der Reihe nach in ursprünglich wagerechten oder nur sehr wenig geneigten Schichten aus dem Wasser abgelagert; stark geneigte Lagerung betrachtet er nur als ganz beschränkte Ausnahme, die lokalen Einstürzen ihre Entstehung verdanke. Irgend welche größere und allgemeinere Störungen kommen nach ihm nicht vor, und auch die vulkanische Thätigkeit hält er für eine auf die allerneueste Zeit beschränkte, rein lokale Erscheinung, die in früheren Perioden nicht aufgetreten sei. Infolgedessen war er genötigt, die jüngeren Eruptivgesteine der Tertiärzeit, vor allem den Basalt, auch für einen wässerigen Absatz, den Basalt sogar für das jüngste aller Flözgesteine zu erklären, das einst in einer ununterbrochenen Decke alle Festländer bedeckt habe und erst allmählich durch zerstörende Agenzien bis auf einzelne in verschiedenen Gegenden auftretende Kuppen abgetragen worden sei; er mußte ferner in strenger Konsequenz seiner Lehre annehmen, daß in verschiedenen Abschnitten der Erdgeschichte das Wasser in unerklärlicher Weise angestiegen und dann wieder gesunken sei, und daß alle Gebirge 2c. ihre Entstehung und Form lediglich der ausnagenden Wirkung des Wassers zu verdanken haben.

Das sind in kurzen Hauptzügen die Ansichten Werners oder wenigstens eine Darstellung, welche sich von denselben nicht allzuweit entfernt, denn eine genaue Wiedergabe besitzen wir nicht. Im größten Maßstab und mit glücklichstem Erfolg als Lehrer thätig, konnte er sich doch nie zu ausgedehnter litterarischer Thätigkeit entschließen; wir haben nur wenige kleine Aufsätze von ihm, die keinen Überblick über seine Auffassung geben, und sind in dieser Richtung auf die später ab-

gedruckten Kollegienhefte eines ſeiner Schüler angewieſen, Kollegienhefte, von denen ſchon damals geſagt wurde, man dürfe ſich ihrer nur mit großer Vorſicht bedienen, um die Anſichten Werners kennen zu lernen. Jedenfalls iſt ſicher, daß dieſe in ihrem theoretiſchen Teil namhafte Irrtümer enthalten, und da die Richtung der Geologie in mancher Hinſicht bald darauf in das entgegengeſetzte Extrem umſchlug, ſo wurden ihm dieſe vielfach ſehr ſchwer angerechnet, ſeine Bedeutung hart und ungerecht beurteilt und ſein Wirken von einzelnen Kurzſichtigen geradezu als ein Hemmſchuh der wiſſenſchaftlichen Entwickelung betrachtet. Es iſt ja richtig, daß Werners Hartnäckigkeit in der Baſaltfrage und noch mehr diejenige vieler ihm blind ergebener Schüler endloſe Diskuſſionen überflüſſiger Natur hervorgerufen und viel vergebliche Anſtrengung verurſacht hat; allein das ändert nichts an der Thatſache, daß die wiſſenſchaftliche Geologie von ihm begründet und auf einen vorher nie geahnten, wenn auch ſpäter bald überſchrittenen Höhepunkt gebracht worden iſt.

Gleichzeitig, teilweiſe noch etwas vor Werner trat eine Reihe bedeutender Männer auf, die zwar in der Methode von ihm nicht unbeeinflußt blieben, aber ſich von ſeinen Ideen, wo dieſe auf Abwege gerieten, fern hielten und auf Thatſachen hinwieſen, die mit denſelben nicht im Einklang ſtanden. Zunächſt iſt hier Sauſſure zu erwähnen, der erſte neuere Alpengeolog, der aus der Stellung der ſteil aufgerichteten und mit Kalkſteinen und Schiefern wechſellagernden Konglomerate von Valorſine in der Montblanc-Gruppe ſchloß, daß ſie einer gewaltigen, dieſen ganzen Gebirgsſtock betreffenden Zerreißung und Aufbiegung unterworfen geweſen ſeien, die noch vielfach ſonſt in den Alpen ſichtbar war und mit der ruhigen Entwickelung, wie ſie von Werner angenommen wurde, nicht übereinſtimmte.

Vor allem war es die Baſaltfrage, welche die heftigſte Aufregung hervorbrachte. Schon unmittelbar nach dem Auftauchen der Anſichten Werners in dieſer Richtung hatten dieſelben in Deutſchland, zuerſt durch Voigt, einen um die Kenntnis des Thüringer Waldes ſehr verdienten praktiſchen Geologen, Widerſpruch erfahren; bald aber gewann dieſe Streitfrage ungeheuer an Ausdehnung, in allen Ländern ſtanden ſich die Schüler und die Gegner Werners, Neptuniſten und Vulkaniſten, feindlich gegenüber, und ſchließlich handelte es ſich, beſonders ſeit dem Eingreifen der ſchottiſchen Geologenſchule unter Hutton, überhaupt darum, ob ein großer Teil aller Geſteine, die Maſſengeſteine, die Gneiſe, die kriſtalliniſchen Schiefer, durch Feuer oder durch Waſſer gebildet ſeien.

Hutton, der gegen Ende des vorigen Jahrhunderts (1788) ſeine Anſichten veröffentlichte, ging vor allem von dem Studium der ſogenannten Geſteinsgänge aus, welche als Spaltausfüllungen verſchiedene geſchichtete und ungeſchichtete Geſteine durchſetzen; in der Entſtehung der Spalten ſah er eine gewaltſame Zerreißung, in der Ausfüllung derſelben mit Geſtein einen eruptiven Vorgang, die Eintreibung einer geſchmolzenen Maſſe, wie das ja auch in ſehr vielen Fällen gewiß richtig iſt. In erſter Linie nahm er dies beim Baſalt an, deſſen Gänge auch oft das Nebengeſtein in einer Weiſe verändern, welche auf die Einwirkung von Hitze ſchließen läßt, dehnte aber ſeine Anſicht bald dahin aus, daß überhaupt alle Maſſengeſteine vom Granit bis zum Baſalt aus Schmelzfluß erſtarrt ſeien; die kriſtalliniſchen Schiefer betrachtete er als durch die innere Erdwärme veränderte normale Schichtgeſteine und wurde dadurch der Begründer der von jeher und noch heute ſo vielumſtrittenen Lehre vom Metamorphismus, d. h. von der lange nach ihrer Ablagerung erfolgten Umwandlung und Umkriſtalliſierung der Geſteine. Ja, er ging ſo weit, zu behaupten, daß die gewöhnlichen Abſätze des Meeres nur durch die Einwirkung der Erdwärme zu Kalk, Sandſtein, Thonſchiefer ꝛc. erſtarren können. Auch die Entſtehung der Gebirge ſchrieb Hutton nur der Erhebung und Aufrichtung durch von unten wirkende vulkaniſche Kräfte zu; als ein beſonderes Verdienſt iſt hervorzuheben, daß er wohl der erſte war, der von der ungeheuern Länge der geologiſchen Zeiträume eine genügende Vorſtellung gab.

Die Werke Huttons sind in einer etwas unklaren und schwerverständlichen Sprache abgefaßt, welche der Verbreitung seiner Ansichten wohl sehr hinderlich gewesen wäre, wenn nicht Playfair, sein Freund und Anhänger, eine erläuternde und durch viele Beobachtungen belegte Darstellung derselben geschrieben hätte, während ein anderer Huttonianer, James Hall, sie durch seine berühmten Versuche über die Schmelzung und Erstarrung von Gesteinen stützte.

Die Huttonsche Theorie stellt dem Standpunkte Werners gegenüber einen sehr großen Fortschritt dar, der namentlich in der Anerkennung der Wirkung einer allgemeinen inneren Erdwärme, in der Auffassung der Massengesteine als Erstarrungsprodukte und in der Erkenntnis der Thätigkeit gebirgsbildender Kräfte beruht. Der Nachweis des Vorkommens granitischer Gänge, den Hutton zuerst lieferte, ist eine der interessantesten geologischen Beobachtungen. Endlich werden alle die, welche mehr oder weniger auf dem Boden des Huttonschen „plutonischen" Metamorphismus, der Lehre von der Veränderung der Gesteine durch die Erdwärme stehen, in der Aufstellung dieser Lehre ein hohes Verdienst sehen; das wird von den zahlreichen Gegnern allerdings nicht anerkannt, doch müssen auch diese wenigstens zugestehen, daß jene von Hutton gegebene Idee außerordentlich anregend gewirkt hat.

Daneben sehen wir schwere Verirrungen herlaufen; die Bedeutung der inneren Erdwärme für die Gesteinsbildung wurde außerordentlich überschätzt und durch die Vorstellung, daß selbst die normalen Flözgesteine auf diesem Wege erhärtet seien, ins Extrem getrieben. Ebenso war die Annahme der Gebirgshebung durch vulkanische Kräfte, wenn auch ein Fortschritt gegenüber dem Wernerschen Standpunkt, doch ganz unhaltbar.

Nichtsdestoweniger kann gesagt werden, daß Hutton auf mehrere Dezennien hinaus der Geologie ihre Richtung gegeben hat. Der nächste Erfolg aber war ein mit äußerster Erbitterung und Hartnäckigkeit geführter, ziemlich unerquicklicher Streit zwischen Neptunisten und Vulkanisten, zwischen Wernerianern und Huttonianern, der sich lange fortspann, bis er endlich nach dem Tode Werners mit dem ziemlich allgemeinen Siege des Feuers über das Wasser endete, als einige seiner bedeutendsten Schüler, wie Leopold von Buch und Alexander von Humboldt, die sich bei Lebzeiten ihres Lehrers aus Pietät von der Diskussion fern gehalten hatten, für die eruptive Natur der Basalte eintraten, von der sie sich auf ihren Reisen in Italien und in den erloschenen Vulkangebieten Frankreichs überzeugt hatten.

Inzwischen schien es fast, als ob der Gegensatz zwischen den beiden feindlichen Schulen alles Interesse der Geologie absorbieren sollte; glücklicherweise fanden sich aber doch allmählich bedeutende Männer, die, des unerquicklichen Zankes müde, sich der reinen Beobachtung der Natur hingaben und so den weiteren Fortschritt der nächsten Zeit anbahnten. Vor allem war es die genauere Feststellung wichtiger Lagerungsverhältnisse und namentlich eingehendes Studium des Flözgebirges, was durch eine Reihe ausgezeichneter Forscher in den verschiedensten Ländern gefördert wurde. Besonders in England machte sich die Reaktion gegen die Schulstreitigkeiten geltend, und hier wurde die jetzt noch blühende Geologische Gesellschaft gegründet (1807), die es sich zur Aufgabe stellte, unbeirrt von theoretischen Meinungsverschiedenheiten nur die geologische Beobachtung zu pflegen. Sie fußte mit ihren Untersuchungen vornehmlich auf der Grundlage, welche kurz vorher William Smith (1839), einer der merkwürdigsten und verdienstvollsten Männer, für das Studium der geschichteten Ablagerungen gegeben hatte.

Sowohl Werner als Hutton hatten dem Vorkommen der Versteinerungen in verschiedenen Schichtgruppen fast gar keine Aufmerksamkeit geschenkt; die große Lücke, die dadurch entstand, füllte William Smith aus, der eigentliche Begründer der neueren Richtung in der stratigraphischen Geologie, der Lehre von den Schichtgesteinen. Er war kein gelehrter Mann, er war ein Genie, das die Bedeutung seiner Entdeckungen kaum ahnte, und wäre in merkwürdiger Anspruchs-

losigkeit vielleicht nie zur Veröffentlichung seiner Beobachtungen gekommen, wenn ihn nicht seine Freunde dazu gedrängt hätten. Ohne irgend welche Verbindung mit einem Gelehrten seiner Zeit durchstreifte er als reiner Autodidakt die geschichteten Gebirge Englands; besonders aber ward ihm Gelegenheit zu eingehenden Studien, während er als Ingenieur den Bau eines Kanals leitete, bei welchem viele Aufschlüsse in versteinerungsreichen Schichten gemacht wurden. Als junger Mann von 26 Jahren (1795) war er dabei zu dem Resultat gelangt, „daß alle Schichten der Reihe nach auf dem Boden des Meeres abgelagert worden seien, und daß jede derselben die versteinerten Überreste der zur Zeit ihrer Bildung lebenden Organismen enthalte", und ferner, „daß jede Schicht ihre eigenen Fossilreste führe, durch welche man dieselbe in zweifelhaften Fällen (in entfernten Gegenden) wiedererkennen und identifizieren könne". Auf diese Weise gelang es ihm, die ganze Folge der englischen Schichtgesteine, von der Steinkohlenformation aufwärts bis zur Kreide, in eine Anzahl von Horizonten zu zerlegen, die in den verschiedensten Gegenden des Landes mit denselben Versteinerungen und in derselben Reihenfolge wieder auftreten. Wohl war Smith selbst in der Kenntnis der Versteinerungen sehr wenig bewandert, doch hatte er glücklicherweise die Bekanntschaft zweier Liebhaber der Paläontologie gemacht, Richardsons und Townsends, welche die von ihm gesammelten Fossilien bestimmten. Noch immer dachte der Entdecker nicht daran, seine Resultate öffentlich bekannt zu machen; es war fast zufällig, als er eines Tages mit seinen beiden Freunden zu Mittag gegessen hatte, daß einer derselben vorschlug, die erkannte Schichtfolge einmal zu Papier zu bringen. Sie gingen sofort ans Werk, und Smith diktierte eine kurze Tabelle, welche die Lokalnamen von 23 aufeinander folgenden Schichtgruppen, ihre gewöhnliche Mächtigkeit, die bezeichnendsten Fossilien, die Gesteinsbeschaffenheit und die wichtigsten Lokalitäten enthielt, an denen jede derselben zu beobachten ist. Die Tabelle wurde nicht im Druck veröffentlicht, sondern in zahlreichen Abschriften verbreitet und übte großen Einfluß auf die geologischen Auffassungen und Arbeiten; aber erst nach einem Zeitraum von fast 20 Jahren kam Smith dazu, die Resultate seiner Studien in einem größeren Werke niederzulegen. Schon einige Jahre früher war die große geologische Karte von England erschienen, welche er in langjähriger angestrengter Arbeit und unter Darangabe seines Vermögens aufgenommen hatte, ein unvergängliches Denkmal seines gewaltigen Wollens und Könnens.

Während in England eine Anzahl tüchtiger Geologen, wie Buckland, Fitton, Mantell, Phillips und andere in der gegebenen Richtung fortarbeiteten, erlangte unsere Wissenschaft in Frankreich eine außerordentlich hohe Entwickelung durch zwei Forscher, Brongniart und Cuvier (1808). Sie leisteten für das Pariser Becken das, was Smith für England gethan hatte, ihre Resultate sind aber von ungleich größerem, unmittelbarem Einfluß geworden, weil eine ganz ausgezeichnete Bearbeitung der paläontologischen Vorkommnisse mit den stratigraphischen Untersuchungen Hand in Hand ging; ein bedeutender Fortschritt war namentlich auch in der genauen Berücksichtigung der jüngeren Ablagerungen, der sogenannten Tertiärformation gegeben.

*

In diese Zeit fällt auch die glänzende Entwickelung der Paläontologie durch Cuvier, der hierin zuerst mit konsequent wissenschaftlicher Methode arbeitete, indem er unwiderleglich nachwies, daß die meisten fossilen Formen ausgestorbenen Gattungen und Arten angehören, und eine ganze Welt untergegangener Geschöpfe aus ihren Überresten wiederherstellte. Es war das eine unerläßliche Bedingung für die weitere Entwickelung der Geologie, welche seitdem von der Paläontologie die mächtigste Förderung erhalten hat. Allerdings machte sich als nächste Folge eine irrige Auffassung der Erdgeschichte geltend; Cuvier knüpfte an seine Forschungen eine weittragende Theorie über die Verteilung der Organismen in früheren Perioden, welche sich als vollständig

verfehlt erwiesen hat. Es hatte sich gezeigt, daß verschiedene aufeinander folgende Schichtgruppen oder Formationen durch ihnen eigentümliche Fossilien ausgezeichnet sind, und Cuvier erkannte, daß die Unterschiede zwischen den einzelnen fossilen Faunen ebenso bedeutend seien wie diejenigen, welche die jüngsten unter ihnen von der jetzt lebenden trennen. Er folgerte daraus, daß jeder der großen Zeitabschnitte seine eigentümliche Tier- und Pflanzenwelt besessen habe, und daß am Schlusse eines jeden eine große Erdumwälzung, von weit gewaltigeren Kräften als die jetzt auf der Erde wirkenden veranlaßt, eingetreten sei, welche alle Lebewesen ausrottete und zerstörte und so für eine völlige Neuschöpfung Raum machte. Eine Reihe solcher Umwälzungen, Zerstörungen und Erneuerungen, schloß er weiter, fand in der Entwickelung der Erde statt, bis auf die letzte derselben das Auftreten des Menschen und der heutigen Lebewelt folgte.

Diese Theorie enthält die durchaus unrichtigen Annahmen von alles zerstörenden Umwälzungen, von plötzlichen Neuschöpfungen und von dem Wirken gewaltiger, heute nicht mehr wirksamer Agenzien bei denselben; man hat stellenweise Cuvier einen großen Vorwurf daraus gemacht oder wenigstens gemeint, eine solche Auffassung bei den großen Verdiensten des Mannes höchstens mit Nachsicht behandeln zu sollen. Uns scheint das nicht ganz richtig, wir sehen in dieser Hypothese ein direktes Verdienst: in jeder einzelnen Phase der Entwickelung einer Wissenschaft ist es notwendig, den momentanen Stand der Kenntnis zu einer Theorie zusammenzufassen, von der aus eine einheitliche Anschauung über die Gesamtheit der Erscheinungen möglich ist. Jede solche Theorie wird mit der Zeit überholt und mag sich in manchen Punkten als falsch erweisen; sie ist aber doch gut, wenn sie zur Zeit ihrer Aufstellung die Summe der bekannten Thatsachen umfaßt, mit keiner derselben in Widerspruch steht, früheren Auffassungen gegenüber einen Fortschritt bekundet und zu weiterer Forschung anregt. Von diesem Standpunkt aus muß Cuviers Theorie ganz entschieden anerkannt werden; der Fortschritt, den sie enthält, beruht darin, daß die Faunen und Floren der einzelnen aufeinander folgenden Schichtgruppen als die großen Etappen in der Entwickelung der Organismenwelt aufgefaßt und die universelle Bedeutung der geologisch-paläontologischen Untersuchung ausgesprochen wurde. Aus dieser Behandlung des Gegenstandes entsprang eine mächtige Anregung für weitere Arbeiten. Wenn späterhin jene Kataklysmentheorie direkt schädlich wirkte, so liegt die Schuld nicht an Cuvier, sondern an denjenigen, welche sie ins Extrem trieben und auch dann noch an ihr festhielten, als sie mit den Thatsachen in offenbaren Widerspruch geraten war. Übrigens gelangte dieselbe nie zu allgemeiner Annahme, und namentlich in England und Deutschland verhielt man sich ihr gegenüber ziemlich skeptisch.

Die Periode der geologischen Forschung nach Werner und nach den stratigraphischen Fortschritten von W. Smith erhält ihr Gepräge durch das Wirken eines großen Mannes, der mit Recht als der erste Geolog seiner Zeit bezeichnet wird, durch den bereits genannten Leopold von Buch. Eine wahrhaft staunenswerte Vielseitigkeit, unübertroffener Scharfblick und das lebhafteste, man kann sagen stürmische Interesse an allen wichtigen Fragen, wie es aus seinen Schriften überall hervorbricht, hatten zur Folge, daß in der Zeit, die nach ihm genannt wird, kaum eine große Leistung hervortreten mochte, an der er nicht irgendwie beteiligt gewesen wäre, sei es durch eigene Arbeit, sei es durch Rat und Anregung, durch Beleuchtung ihrer Bedeutung oder durch eine Kritik, die unter Umständen sehr energisch werden konnte. So brachte seine geniale Persönlichkeit der ganzen wissenschaftlichen Produktion auf unserem Gebiete einen lebhaften Schwung bei und wir sehen ihn als den leitenden Geist in der geologischen Sturm- und Drangperiode, welche durch ihre gewaltigen Fortschritte, ihre stets bedeutende, von jeder Kleinlichkeit entfernte Auffassung, aber auch durch ihre bedeutenden Irrtümer ausgezeichnet war. Der große Mann ist sehr verschieden beurteilt worden, von manchen mit unbedingtester Verehrung, von anderen mit einer an Scheelsucht grenzenden Betonung seiner Verirrungen.

Leopold von Buch wurde im Jahre 1774 zu Stolpe an der Oder (Uckermark) geboren; er studierte an der Freiberger Bergakademie unter Werner, später an der Universität in Halle und wandte sich dem praktischen Bergwesen zu, das er jedoch bald wieder verließ, um sich ganz der Geologie zu widmen und zunächst längere Reisen in die Alpen, nach Italien und Frankreich zu unternehmen. Buch hatte seine Laufbahn als eifriger Neptunist begonnen; das Studium der italienischen Vulkane und der vulkanischen Gesteine der Auvergne in Frankreich machte ihn in dieser Auffassung wankend, bis er sich endlich von der Unrichtigkeit derselben völlig überzeugte und zur plutonistischen Richtung überging, deren Sieg dadurch entschieden wurde. Von da an war er der leitende Mann in allen großen geologischen Fragen seiner Zeit. Für die Wernersche Zeit konnte es als charakteristisch bezeichnet werden, daß der leitende Forscher nur der Vertiefung in die Verhältnisse des kleinen Erzgebirgsterrains, über das er nicht hinausgeblickt hatte, seine epochemachenden Fortschritte verdankte. Dieses Verhältnis war geändert: es kam nun darauf an, die in beschränkten Bezirken erworbenen Erfahrungen auszudehnen, verschiedene Gegenden miteinander zu vergleichen, vom Speziellen zum Allgemeinen vorzuschreiten, nicht nur wie früher in Hypothesen, sondern in der Beobachtung.

In erster Linie verdankt man Buch die Neugestaltung der Lehre von den Vulkanen, wozu ihm seine reichen Erfahrungen in einer Anzahl der wichtigsten Eruptivgebiete die Veranlassung gaben. Die Resultate sind in dem berühmten Werke über die Kanarischen Inseln niedergelegt. Bei dieser Neubegründung der Vulkanologie, die eine Reihe der fruchtbarsten Ideen enthält, sprach er auch die Ansicht aus, daß die Lava-,

Der Pik von Teneriffa. In der Mitte der Krater mit Lavaströmen; der niedrigere Höhenzug zur Linken bildet den sogenannten Hebungskrater. Vgl. Text, S. 28.

Tuff- und Konglomeratlager, welche man an den Vulkanen in aufgerichteter Stellung sieht, diese Anordnung durch die hebende Kraft der Ausbrüche erhalten hätten (s. Abbildung, S. 27). Dadurch wurde dann weiter die Auffassung gegeben, daß bei Hebungen von Gebirgen vor allem vulkanische Kräfte thätig seien. Da man nun häufig in den Gebirgen Massengesteine hervortreten sah, während solche in anderen Fällen nicht an der Oberfläche erscheinen, so wurde weiter gefolgert, daß in den letzteren unterirdische, nicht zum vollen Durchbruch gelangte Eruptivmassen vorhanden wären. Hand in Hand mit diesen Erklärungsversuchen gingen die wichtigen Forschungen über die Hauptrichtungen der Gebirgssysteme in Deutschland, von denen Buch nachwies, daß sie sich im wesentlichen auf vier Direktionen zurückführen lassen. Ferner hatte er bei seinen Reisen in Skandinavien den an den dortigen Küsten nachweisbaren Schwankungen des Meeresspiegels seine Aufmerksamkeit gewidmet und daraus, wie schon früher Playfair, den Schluß gezogen, daß säkulare Hebungen und Senkungen der Kontinente vor sich gehen.

In manchen dieser Punkte haben sich die Voraussetzungen L. von Buchs nicht bestätigt; gegen die Annahme der „Hebungskrater" traten namentlich Poulett Scrope und Lyell in England und Friedrich Hofmann in Deutschland auf, indem sie zeigten, daß sich die Vulkankegel in der Regel lediglich durch Aufschüttung von Lava und losen Materialien unter einem natürlichen Böschungswinkel bilden. Ebenso wird jetzt anerkannt, daß vulkanische Kräfte bei der Aufrichtung der Gebirge im allgemeinen unbeteiligt sind. Trotzdem liegt in der Aufstellung dieser Theorie ein geradezu unberechenbarer Fortschritt: die Lehre vom Bau und der Entstehung der Gebirge war hier mit einemmal gegeben und von großen Gesichtspunkten aus aufgefaßt, die Bedeutung der Hauptrichtungen dargelegt und der Weg betreten, welcher zur Lösung der Frage führen mußte.

Eine andere Reihe von Untersuchungen betraf den Dolomit. Dieser war wohl schon seit längerer Zeit bekannt, aber sein Vorkommen in gewaltigen Massen als gebirgsbildende Felsart war früher übersehen worden, da man ihn in der Regel mit Kalkstein verwechselt hatte. Buch zeigte nun zuerst, daß im ganzen Bereiche der Alpen, ferner in Franken, Thüringen und vielen anderen Gegenden mächtige Dolomitmassen auftreten. Gleichzeitig entging es seinem durchdringenden Scharfblick nicht, daß dieses Gestein sowohl in der Lagerung als in der Zusammensetzung Eigentümlichkeiten zeigt, welche gegen die Auffassung sprechen, daß es sich normal, ähnlich wie der Kalkstein, abgelagert habe. Da nun in den Dolomitterritorien Südtirols vielfach große Eruptivmassen von Augitporphyr auftreten, so sprach Leopold von Buch die Ansicht aus, daß bei den Porphyrausbrüchen Magnesiadämpfe dem Erdinnern entströmt wären, welche den Kalkstein in Dolomit verwandelt hätten. Allerdings hat sich diese Erklärung nicht als haltbar erwiesen, aber es ist auch bis jetzt nicht gelungen, eine bessere mit voller Sicherheit an ihre Stelle zu setzen.

Mit nicht geringerem Erfolge war L. von Buch in der stratigraphischen Geologie thätig. Aus den von W. Smith, Brongniart und Cuvier gegebenen Anfängen hat sich dieser Zweig der Geologie ungemein rasch entwickelt; die Reihe der aufeinander folgenden Formationen erweiterte sich namentlich durch die Untersuchungen von Sedgwick und Murchison, welche sich mit dem Studium der ältesten fossilführenden Ablagerungen beschäftigten. Anderseits wurde durch Vergleich der Ablagerungen aus verschiedenen Gegenden die große Verbreitung der einzelnen Formationen nachgewiesen und die einander entsprechenden Ablagerungen entfernter Länder miteinander in Parallele gebracht. Auch auf diesem Gebiete war L. von Buch einer der erfolgreichsten Arbeiter, und eine Anzahl wichtiger Aufsätze, z. B. der über den Jura in Deutschland, zeigt, daß er hier wie in anderen Zweigen der Geologie seinen Zeitgenossen voranging. Ebenso war er auf paläontologischem Gebiete in einer Weise thätig, die ihn zu einem der ersten Forscher in dieser Richtung macht; rechnen wir dazu, daß man ihm die erste geologische Karte von Deutschland verdankt, und daß er außerdem eine Reihe meteorologischer, pflanzengeographischer und anderer

Aufsätze veröffentlicht hat, so gewinnen wir selbst durch diese flüchtige Übersicht die Vorstellung von einem Reichtum wissenschaftlicher Thätigkeit, wie er nur wenigen Menschen vergönnt gewesen ist.

Niemand wird leugnen, daß neben den außerordentlichen Verdiensten Buchs eine Reihe bedeutender Irrtümer herläuft; wer aber daraus einen Vorwurf für den Forscher macht, der hat gar keinen Begriff davon, was es heißt, in einer Zeit stürmisch rascher Weiterentwickelung als Bahnbrecher den Zeitgenossen voranzugehen, der muß diese ganze Periode glänzendsten Aufschwunges der Geologie, die durch L. von Buch als ihren ersten Vertreter charakterisiert wird, überhaupt verdammen.

Man kann nicht von L. von Buch sprechen, ohne sofort an seinen treuen Freund und Studiengenossen Alexander von Humboldt erinnert zu werden, den großen Reisenden und bedeutenden Forscher, dem es möglich war, das naturhistorische Wissen seiner Zeit ganz zu umspannen und in klassischer Form zur zusammenfassenden Darstellung zu bringen. Dabei konnte er sich natürlich nicht mit der Geologie besonders eingehend als selbständiger Arbeiter beschäftigen, und seine Bedeutung auf diesem Gebiete ist deshalb auch weit geringer als diejenige L. von Buchs. Trotzdem haben Humboldts Forschungen in Amerika und in Sibirien auch diesen Zweig mächtig gefördert, und wir verdanken ihm eine Reihe wichtiger und anregender Ideen.

Wie bereits erwähnt, hatte Leopold von Buch darauf hingewiesen, daß in den Gebirgen Deutschlands vier Hauptrichtungen auftreten; dies gab die Anregung zur Aufstellung einer Theorie der Gebirgsbildung durch den bekannten Geologen Elie de Beaumont, welche ein Zeitlang großes Aufsehen erregte. Beaumont, vor allem durch die mit Dufrenoy gemeinsam unternommene Bearbeitung der geologischen Karte von Frankreich hochverdient, bildete die Ideen Buchs in einer Weise weiter aus, die zwar in gewisser Hinsicht sehr fruchtbringend war, in anderer Beziehung aber zu den schwersten Verirrungen führte. Wie sein Vorgänger für Deutschland suchte er, soweit die Daten reichten, für die ganze Erde die Richtungen der Gebirgssysteme und ihrer einzelnen Ketten festzustellen. Indem er dies that und dabei großes thatsächliches Material verarbeitete, viele neue Beziehungen und Gesetzmäßigkeiten erkannte, erwarb sich Beaumont ein unbestreitbares Verdienst. Ein wesentlicher Fortschritt war es schon, daß nun zum erstenmal und vielfach mit Erfolg der Versuch gemacht wurde, die Zeit zu bestimmen, in welcher die Aufrichtung der Gebirge erfolgt ist. Die hierbei angewandte Methode ist sehr einfach und klar: man sucht im Gebirge das Alter der jüngsten Schicht zu bestimmen, die noch von der Aufrichtung betroffen worden ist, während man anderseits das geologische Alter der ältesten Ablagerung feststellt, welche ohne Störung am Fuße desselben liegt; die Aufrichtung muß natürlich in der Zwischenzeit zwischen der Ablagerung dieser zwei Horizonte vor sich gegangen sein. Diese Methode ist eine durchaus richtige und ihre Einführung von größtem Nutzen gewesen. Allein schon die erste Folgerung, die Beaumont daraus zog, war nicht ganz richtig; es ist gar kein Grund zu der Annahme vorhanden, daß die Gebirge sich mit einem Rucke bilden. Wir erhalten also durch die angegebene Zeitbestimmung nicht das Datum der Aufrichtung überhaupt, sondern nur das der letzten Aufrichtungsbewegung, die in einem Gebirge stattgefunden hat.

Auf diese Ideen gründete jedoch Beaumont ein weiteres Gebäude von Theorien, die man wohl als eine schwere Verirrung bezeichnen muß. Für ihn galten alle parallelen Gebirgsketten als gleichzeitig gebildet, und er nahm an, daß alle diese Linien in streng mathematischer Gesetzmäßigkeit, den Kanten einer Kristallfigur entsprechend, verlaufen. Dazu gesellte sich, daß er jedes Gebirge durch einen plötzlichen Aufrichtungsakt entstanden dachte und in diesen Vorgängen die Katastrophen sah, welche im Sinne von Cuvier am Schlusse jeder Formation die Tier- und Pflanzenwelt vernichten sollten. Lange Zeit hindurch erfreute sich seine Theorie namentlich in Frankreich großen Ansehens; heute darf sie wohl als endgültig überwunden betrachtet werden.

Eine wesentlich neue Richtung erhielt die Forschung durch die genaue Untersuchung derjenigen geologischen Vorgänge und Veränderungen, welche heute unter unseren Augen auf der Erde vor sich gehen. Wohl war schon vieles dafür geschehen, namentlich was die Vulkane betrifft; aber ein konsequentes und systematisches Studium dieser Dinge beginnt erst mit Hoff und Lyell. Hoff gab ein ausführliches und sehr wertvolles Werk heraus, in dessen erstem Bande wir einen der wichtigsten Fundamentalsätze der neueren Geologie zuerst aufgestellt finden, nämlich daß die Vorgänge und Kräfte, welche wir jetzt beobachten können, auch alle die Vorgänge und Veränderungen früherer Perioden zuwege gebracht haben. Noch entschiedener ist dies in Lyells berühmten „Principles of geology" ausgesprochen, einem Buche, das namentlich durch die größere Menge eigener Beobachtungen in den verschiedensten Gegenden dasjenige von Hoff überragt und auf die Entwickelung der Geologie einen überaus großen Einfluß ausgeübt hat.

Um die Bedeutung dieses Fortschrittes klar zu erkennen, müssen wir uns vergegenwärtigen, daß man bis dahin einen sehr ausgiebigen Gebrauch von der Annahme großartiger Katastrophen, des Ausbruches verborgener Kräfte ꝛc., gemacht hatte, wobei selbst eine andere Art der Wirksamkeit chemischer und physikalischer Gesetze als die jetzt herrschende für denkbar gehalten und bisweilen in Anspruch genommen wurde. Beruhten doch z. B. die ganze Kataklysmentheorie von Cuvier und das System von Beaumont auf solchen Annahmen. Erst durch obige Arbeiten brach sich eine andere Auffassung Bahn, wonach eine ruhige und allmähliche Entwickelung vorausgesetzt wird, und diese ist noch heute die allgemein angenommene; man spricht daher mit vollem Rechte von der Hoff-Lyellschen Richtung, oder, der größeren Bedeutung des letzteren angemessen, auch nur von der Lyellschen Richtung, in der sich jetzt die Geologie bewegt. Indessen darf nicht verschwiegen werden, daß auch Lyell zu weit gegangen ist. Daß die Erde ursprünglich in einem heißflüssigen Zustande gewesen, daß sie dann allmählich erstarrt ist und sich im Stadium fortwährender Abkühlung befindet, wird kaum mehr geleugnet werden können; es finden also doch Änderungen in der Intensität der wirkenden Kräfte statt, und die ganz konsequente Durchführung von Lyells Uniformismus führt demnach ebenfalls zu unrichtiger Auffassung.

Von besonderer Wichtigkeit sind unter den jetzigen Veränderungen die Wirkungen der Gletscher geworden, deren genaue Beobachtung zu dem Resultat geführt hat, daß in der Periode, welche der Jetztzeit unmittelbar voranging, in der sogenannten Eiszeit, ein kälteres Klima als jetzt herrschte und ein großer Teil von Europa vergletschert war, eine Thatsache, um deren Feststellung sich namentlich Charpentier, Agassiz, Schimper, Venetz und andere verdient gemacht haben, und die für das Verständnis der Verbreitung der Organismen in der Jetztwelt von großer Bedeutung ist. In ähnlicher Weise wirkte die „chemische und physikalische Geologie", die durch Experimente im Laboratorium die Möglichkeit der in der Natur als wirksam gedachten Vorgänge untersucht und die einzelnen Vorkommnisse künstlich nachzubilden bemüht ist. Der bahnbrechende Vertreter dieser Richtung war Gustav Bischoff, dessen Arbeiten einen Wendepunkt in der Auffassung einer Reihe der wichtigsten Verhältnisse hervorriefen, wenn auch seine stellenweise ultraneptunistischen Ansichten sich durchaus nicht alle bestätigt haben.

Wir schließen damit den historischen Überblick über die Geologie. Als wichtigste Resultate der späteren Zeit sind noch zu bezeichnen: die Einführung geologischer Kartenaufnahmen in allen zivilisierten Ländern, die Entwickelung der Alpengeologie, in der namentlich Escher von der Linth und Studer bahnbrechend wirkten, die Ausdehnung der Studien über fast alle Länder der Erde, die schärfere Auffassung der Stratigraphie, der Aufschwung der Gesteinslehre durch die mikroskopischen Untersuchungsmethoden und nicht zuletzt die gewaltigen Fortschritte der Paläontologie unter dem befruchtenden Einfluß der Darwinschen Lehre.

Grundbegriffe der Geologie.

Bäche und Flüsse führen bekanntlich feste Teile, Thon, Sand ꝛc., und lagern diese am Grunde des Meeres oder von Binnenseen ab; dadurch bilden sich Gesteine, welche der Art ihrer allmählichen Absetzung auf ebenem Grunde entsprechend in horizontale Schichten abgeteilt sind. Auf diese Weise entstehen Sandsteine, Thone, Thonschiefer, Mergel, Kalke und die Kohlengesteine, die alle samt ihren mannigfachen Verwandten dieser ihrer Entstehungsart und Ausbildung nach als Ab-

Horizontal gelagerte Schichten, durch einen Bach aufgeschlossen.

satzgesteine, Sedimentärgesteine, Flözgesteine, Schichtgesteine bezeichnet werden. Von solchen aufeinander liegenden Schichten muß natürlich die tiefste die zuerst gebildete, die älteste sein, während die darüberliegenden sich als immer jünger und jünger erweisen.

Denken wir uns nun ein Stück alten Meeresbodens mit all seinen Sedimenten durch irgend einen Vorgang, sei es eine Hebung des Festlandes oder ein Sinken der Wassers, aus dem Meere emporgetaucht, so werden Regen, Frost, rinnende Gewässer und ähnliche Einflüsse beginnen, an der Abnagung des Materials zu arbeiten; nehmen wir ferner an, daß ein Bach oder Fluß sich in diese dem Meere entstiegenen Absätze sein Bett eingeschnitten habe (s. obenstehende Abbildung), so wird sich uns an den Rändern dieser Schlucht ein Durchschnitt durch eine Reihe übereinander lagernder horizontaler Schichten zeigen, von denen wiederum die tiefste am ältesten, die höchste am jüngsten sein muß.

Untersucht man nun an einem derartigen Aufschluß, welcher z. B. marine Ablagerungen entblößt, mit einiger Aufmerksamkeit das Gestein, so findet man sehr oft bald in größerer, bald

in geringerer Menge die versteinerten Überreste von Tieren oder Pflanzen, welche zur Zeit der Bildung der Ablagerungen lebten und von diesen umschlossen wurden; das Alter der Versteinerung und dasjenige der Schicht, aus welcher sie stammt, ist dasselbe, und da sich nach der Lagerung der Schichten deren Aufeinanderfolge und Alter feststellen läßt, so kann man natürlich das Resultat auch auf die Versteinerungen übertragen, indem diejenigen der tieferen Bänke aus einer früheren Zeit stammen als diejenigen der höheren.

So einfach diese Sache erscheint, so sehen wir in ihr doch ein Verhältnis von allergrößter Tragweite, denn sie gibt uns die Mittel an die Hand, die Aufeinanderfolge der Lebewesen auf der Erde festzustellen und von einer einfachen Beschreibung vereinzelter Versteinerungen zur historischen Darstellung der Entwickelung der Organismenwelt vorzuschreiten.

Die Grundlage jeder Forschung in dieser Hinsicht ist ein streng systematisches Sammeln der Versteinerungen nach einzelnen Schichten und ein Verzeichnen der Reihenfolge, in welcher diese aufeinander liegen. Vergleicht man dann das Material an gesammelten Fossilien, so ergibt sich etwa in einem Falle, daß mehrere unmittelbar aufeinander folgende Schichten genau dieselben Arten fossiler Tiere oder Pflanzen enthalten, woraus der Schluß zu ziehen ist, daß innerhalb der Zeit, welche jene zu ihrer Bildung in Anspruch nahmen, die Organismenwelt keine beträchtlichen Änderungen erlitten hat. Im entgegengesetzten Falle, wenn eine höhere Schichtgruppe andere Versteinerungen als die tieferen Ablagerungen führt, wird man daraus eine in der Zwischenzeit eingetretene Änderung in der Bevölkerung folgern müssen, von der sich allerdings nicht sofort entscheiden läßt, ob sie durch örtliche Verhältnisse bedingt war oder mit einer allgemeinen Umgestaltung der Tier- und Pflanzenwelt im Zusammenhang gestanden hat.

Um über die Bedeutung dieser Thatsachen Klarheit zu erlangen, ist man gezwungen, derartige Untersuchungen an möglichst zahlreichen Punkten vorzunehmen und über ein möglichst ausgedehntes Gebiet der Erdoberfläche zu erstrecken. Eine solche Erweiterung der Erfahrungen hat gezeigt, daß die Art und Weise, wie die Organismenreste in den Schichten verteilt sind, durchaus nicht zufällig, sondern streng gesetzmäßig ist; die verschiedenen Tierformen pflegen in ganz bestimmten Schichten zu liegen, und in der großen Mehrzahl der Fälle kehrt eine ganz bestimmte Reihenfolge, in welcher sie nacheinander auftreten, in sehr verschiedenen Gegenden wieder.

Denken wir uns in eins der klassischen Gebiete der fossilführenden Gesteine versetzt, etwa an den Fuß der Schwäbischen Alb, wo eine Reihe von versteinerungsreichen Mergeln, Thonen, Kalken in äußerst regelmäßiger Aufeinanderfolge auftritt. Wir finden hier z. B. eine Mergellage mit zahlreichen fossilen Ammonitengehäusen, die als Ammonites radians und jurensis beschrieben worden sind; unter diesen Mergeln liegen bituminöse Schiefer mit anderen Arten derselben Gattung, mit Ammonites communis, heterophyllus und lythensis; darunter folgt eine Kalkbank mit Ammonites spinatus, dann mächtige Thone mit Ammonites margaritatus, und so läßt sich eine ganze Reihe solcher Schichtkomplexe verfolgen, die überall in derselben Reihenfolge und mit denselben Arten auftreten, ob wir im Osten oder im Westen des Landes die Untersuchungen anstellen; allein selbst wenn wir in Norddeutschland, in Frankreich, in England die entsprechenden Ablagerungen aufsuchen, so tritt uns dieselbe Vergesellschaftung von Tierarten in der gleichen Reihenfolge entgegen, und vielfach ist es sogar gelungen, in fremden Weltteilen, in Indien, Amerika 2c., dieselben Verhältnisse nachzuweisen, die in Europa beobachtet worden sind.

Es geht aus alledem hervor, daß wenigstens ein großer Teil der Unterschiede, die wir in einem Durchschnitt zwischen zwei Schichten konstatieren, nicht auf örtlichen Änderungen, sondern auf allgemeinen Umgestaltungen der Lebewelt beruht. Ferner ergibt sich daraus die Möglichkeit, Schichten aus entfernten Gegenden, welche die gleichen Versteinerungen enthalten, als derselben Periode angehörig, als gleichalterig zu erklären, und wie wir ursprünglich aus der Lagerung der

Schichten in einem und demselben Profil das Altersverhältnis der Versteinerungen zu bestimmen im stande waren, so geben uns nun diese wieder die Mittel an die Hand, die Schichten weit auseinander liegender Gegenden dem Alter nach miteinander zu vergleichen.

An keinem Punkte der Erde hat man bis jetzt Schichten aus allen verschiedenen geologischen Perioden gut entwickelt und mit zahlreichen Fossilien ausgestattet vereinigt gefunden. Da wir aber mit Hilfe der Versteinerungen die Schichten voneinander entfernt gelegener Länder zu vergleichen und ihr Alter zu bestimmen im stande sind, so ist es auf diese Weise gelungen, eine ideale Reihenfolge aller Ablagerungen und der in ihnen enthaltenen Organismen festzustellen, die eine ziemliche Vollständigkeit aufzuweisen hat. Man konnte eine chronologische Tabelle entwerfen, in welche sich jedes einzelne Vorkommnis einreihen läßt.

Die großen Hauptabteilungen bezeichnet man in der Regel als Perioden, diese zerfallen in Formationen, und letztere wieder in Stufen, Stockwerke, Gruppen oder Etagen, welche dann weiter nach verschiedenen Prinzipien in Unterabteilungen gebracht werden.

Da die chronologischen Abschnitte zu den geologischen Begriffen gehören, welche jeden Augenblick genannt werden, so müssen wir uns wenigstens oberflächlich mit denselben bekannt machen. Die Reihenfolge der Perioden und Formationen ist hier in der Weise mitgeteilt, daß die jüngsten zu oberst, die ältesten zu unterst genannt sind.[1]

IV.	III.	II.	I.
Känozoische Periode:	Mesozoische Periode:	Paläozoische Periode:	Archäische Periode.
11) Jetztzeit.	8) Kreideformation.	5) Permformation (Dyas).	
10) Quartärformation oder Diluvium.	7) Juraformation.	4) Kohlenformation.	
9) Tertiärformation.	6) Triasformation.	3) Devonformation.	
		2) Silurformation.	
		1) Kambrische Format.	

[1] Ursprung und Bedeutung der hier angewandten Namen sind folgende:
känozoisch, vom griechischen *καινός* (kainós), neu, und *ζῶον* (zō'on), Lebewesen;
mesozoisch, von *μέσος* (mésos), mittel, und *ζῶον*;
paläozoisch, von *παλαιός* (palaiós), alt, und *ζῶον*;
archäisch, von *ἀρχαῖος* (archáios), alt oder anfänglich.

Quartärformation, vom lateinischen quartus, der vierte, weil nach älterer Auffassung diese Abteilung die vierte unter den großen Hauptperioden der Erdgeschichte darstellte; Diluvium, Sintflut, weil man früher die Sintflut in diesen Zeitraum verlegen zu können glaubte.

Tertiärformation, vom lateinischen tertius, der dritte, weil man diese Formation als den dritten Hauptabschnitt der Erdgeschichte betrachtete.

Kreideformation, nach dem Vorkommen der weißen Schreibkreide, welche in vielen Gegenden im oberen Teil dieser Formation auftritt.

Juraformation, nach dem Juragebirge.

Triasformation, von tres, drei, weil diese Formation in vielen Gegenden aus drei scharf geschiedenen Gliedern besteht.

Permformation, nach dem russischen Gouvernement Perm.

Kohlenformation, als Trägerin der Hauptmasse der Steinkohlen.

Devonformation, nach der Grafschaft Devonshire in England.

Silurformation, nach den Silurern, einer keltischen Völkerschaft im heutigen Wales, die den Römern bei ihrer Unterwerfung Britanniens kräftigen Widerstand leistete; die Silurformation ist gerade in den ehemaligen Wohnsitzen dieses Stammes sehr entwickelt.

Kambrische Formation, nach dem Kambrischen Gebirge in Wales.

I. Archäische Periode.

Der archäischen Periode gehören jene Massen von Gneis, Glimmerschiefer, Phylliten 2c., jene kristallinischen Schiefer an, die in Verbindung mit Marmor und Quarzit in ungeheurer Verbreitung unter den ältesten fossilführenden Gesteinen der kambrischen Formation liegen und bis jetzt noch keine sicher deutbaren Versteinerungen von Tieren und Pflanzen geliefert haben.

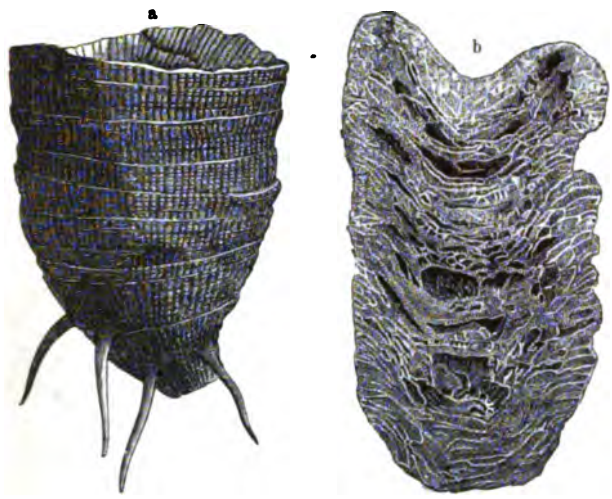
II. Paläozoische Periode.

1) Kambrische Formation. In vielen Gegenden verlieren die jüngsten und höchsten Ablagerungen der archäischen Periode allmählich ihren kristallinischen Charakter, und es treten Übergänge von diesen zu normalen, nicht kristallinischen Schichtgesteinen auf. In diesen Gebilden finden sich auch hier und da vereinzelte dürftige und sehr schlecht erhaltene Reste von Organismen; wir erreichen damit die kambrische Formation, deren untere Hälfte sehr wenig Versteinerungen liefert, während ihre höheren Abteilungen stellenweise eine immerhin noch ziemlich artenarme, aber individuenreiche Fauna enthalten, in welcher Repräsentanten der eigentümlichen längst ausgestorbenen Krebsordnung der Trilobiten weitaus vorherrschen (vgl. Paradoxides bohemicus, nebenstehend).

Paradoxides bohemicus.
1/2 natürl. Größe.

2) Die Silurformation, welche in besonders ausgezeichneter Entwickelung in Böhmen, England, Skandinavien, Rußland und Nordamerika auftritt, aber auch sonst sehr verbreitet ist, zeigt zuerst sehr reiche Entfaltung tierischen Lebens. Von den niedrigsten Organismen, den Protozoen, sind die zierlichen Kieselgerüste der Radiolarien nachgewiesen, und auch Foraminiferen treten an einigen Punkten auf. Wenden wir uns höheren Tierabteilungen zu, so finden sich die Glasschwämme schon in ziemlicher Mannigfaltigkeit; außerordentlich reiche Entwickelung zeigen die Korallen, welche durch die Tetrakorallien oder Rugosen (vgl. Omphyma subturbinatum, S. 35) und die Tabulaten (vgl. Favosites, S. 36) vertreten sind. Derselben großen Abteilung des Tierreichs, wie Schwämme und Korallen, gehört vielleicht auch die eigentümliche und fast ganz auf das Silur beschränkte Gruppe der Graptolithen an (vgl. Graptolithes, S. 36).

Von den Stachelhäutern oder Echinodermen finden sich Seesterne und Seeigel nur in geringer Anzahl, während die Cystideen (vgl. Echinosphaerites, S. 35) fast ganz auf das Silur beschränkt sind und die Krinoiden oder Seelilien außerordentlichen Formenreichtum entwickeln. Bryozoen sind vorhanden, doch ohne hervorragende Bedeutung, wogegen die große Abteilung der Brachiopoden den Höhepunkt ihrer Entwickelung erreicht (vgl. Orthis hybrida, S. 35). Muscheln und Schnecken zeigen sich ebenfalls in Menge, und zu ihnen gesellt sich die vermutlich mit den Schnecken verwandte, vollständig ausgestorbene Familie der Konulariden (vgl. Conularia, S. 35). Die hoch organisierte Klasse der Weichtiere oder Mollusken, die Cephalopoden, ist fast ausschließlich durch die formenreiche Abteilung der Nautiliden vertreten (vgl. Orthoceras Neptuneum, S. 35). Unter den Krustaceen oder Krebstieren haben die Trilobiten eine bedeutend größere Artenzahl aufzuweisen als in den kambrischen Bildungen; allein da die ganze Fauna sehr viel reicher geworden ist, so spielen sie nicht mehr wie damals die erste Rolle, sondern sind von anderen Abteilungen des Tierreichs bedeutend überflügelt worden (vgl. Dalmanites socialis, S. 35).

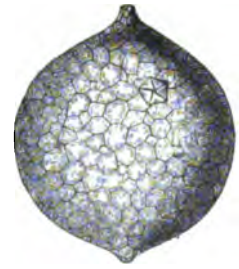


Omphyma subturbinatum: a) von der Seite, b) durchgeſchnitten. Vgl. Text, S. 34.

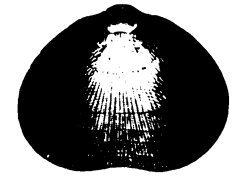
Conularia: a) von oben, b) von der Seite. (Nach Barrande.) Vgl. Text, S. 34.

Orthoceras Neptuneum: a) Exemplar mit teilweiſe erhaltener Schale und abgebrochener Spitze; b) Längsſchnitt, welcher die Kammern im Inneren zeigt; c) Querſchnitt. (Nach Barrande.) Vgl. Text, S. 34.

Dalmanites socialis. (Nach Barrande.) Vgl. Text, S. 34.



Echinosphaerites. Vgl. Text, S. 34.



Orthis hybrida. Vgl. Text, S. 34.

Wirbeltiere sind noch kaum zu finden, nur wenige Fische erscheinen in den höchsten Teilen der Formation. Von Pflanzen sind verschiedene marine Gewächse, namentlich Algen und Diatomeen bekannt; das Vorkommen von Landpflanzen ist sehr beschränkt.

3) Die Devonformation finden wir in typischer Entwickelung in den Rheinlanden; außerdem ist sie in ganz Europa sehr verbreitet. Von außereuropäischen Ländern ist besonders Nordamerika zu nennen, wo die Formation das Maximum ihrer Entfaltung zu erreichen scheint.

Die Bevölkerung ist derjenigen des Silur nahe verwandt, nur die Graptolithen und Cystideen sind fast vollständig verschwunden. Unter den reichlich entwickelten Korallen ist als ein

Favosites. (Nach Goldfuß.) Vgl. Text, S. 34.

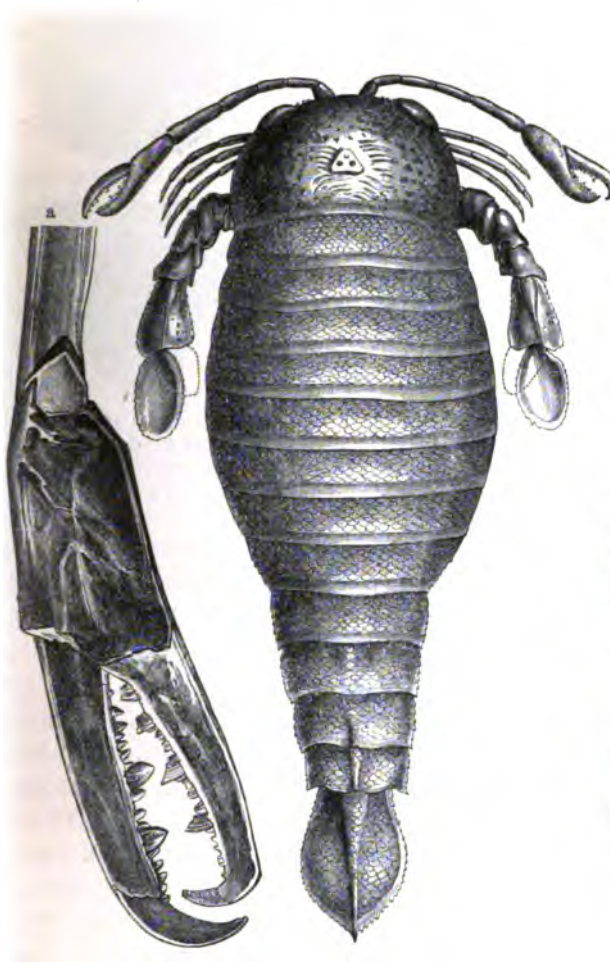
Graptolithes: a) und b) verschiedene Erhaltungszustände. Vgl. Text, S. 34.

sehr charakteristischer Typus die Calceola sandalina (s. Abbildung, S. 38) hervorzuheben. Die Krinoiden sind auch im Devon in großer Menge vorhanden (vgl. Lecithocrinus Eifelianus. S. 38) und ebenso die Brachiopoden (vgl. Stringocephalus Burtini, S. 37). Unter den Cephalopoden sind die Nautiliden viel schwächer vertreten als im Silur, während die Ammonitiden nun zum erstenmal kräftig hervortreten (vgl. Goniatites intumescens, S. 37).

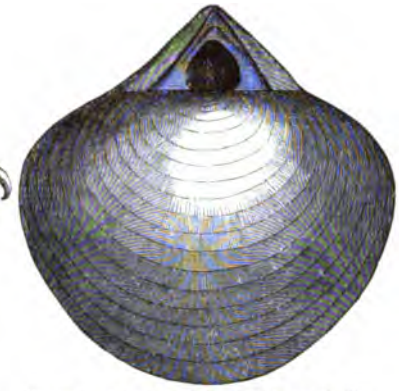
Unter den Krustaceen macht sich eine außerordentlich starke Abnahme der Trilobiten bemerkbar, dagegen finden wir die vollste Entfaltung der merkwürdigen Eurypteriden, die unter allen Krustern der Vor- und Jetztzeit die gewaltigsten Dimensionen erreicht zu haben scheinen (vgl. Pterygotus, S. 37). Fische finden sich in großer Artenzahl namentlich in jenen Ablagerungen von Rußland, England und Nordamerika, die als alter roter Sandstein bezeichnet werden. Hervorragende Bedeutung haben besonders Panzerfische von seltsamem Bau (vgl. Pterichthys, S. 38) und schmelzschuppige Ganoiden, ferner haifischähnliche Formen.

Neben diesen Typen, die dem Wasser angehören, begegnen uns hier zum erstenmal in etwas größerer Zahl Bewohner des festen Landes; verschiedene Landpflanzen, einzelne Insekten, vielleicht auch einige Landschnecken geben uns Kunde von dem organischen Leben auf dem Trockenen.

4) Die **Kohlenformation** zeigt uns dann kontinentales Leben in reichster Entfaltung. Die Steinkohlenflöze und die sie umschließenden Gesteine haben eine reiche Flora geliefert, in



Pterygotus, verkleinert; die einzelne Schere a) in natürl. Größe. (Nach Woodward.) Vgl. Text, S. 36.

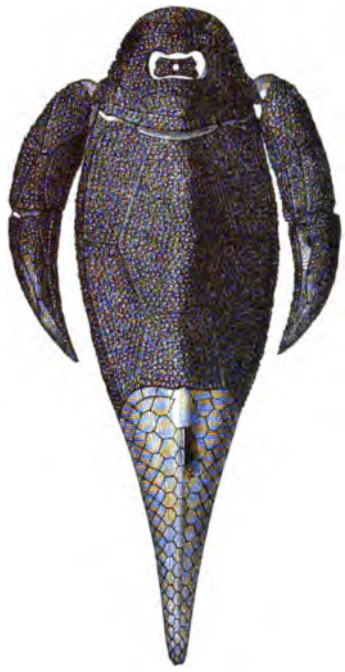


Stringocephalus Burtini. Vgl. Text, S. 36.

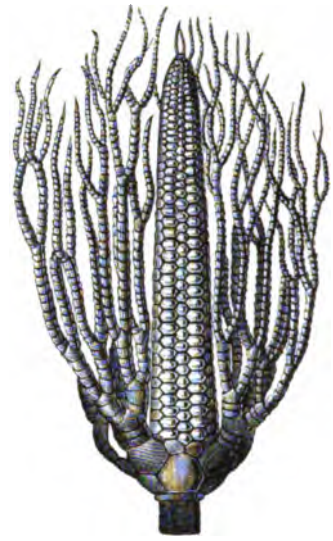
Goniatites intumescens. (Nach Sandberger.) Vgl. Text, S. 36.

welcher namentlich Schachtelhalme, Baumfarne, die den Bärlapp-Pflanzen oder Lykopodiaceen verwandten Lepidodendren und Sigillarien (vgl. Lepidodendron Sternbergi, S. 38), endlich Nadelhölzer von großer Bedeutung sind; mit ihnen erscheinen mehrfach Vertreter von Landschnecken, ferner Tausendfüße, Skorpione, Spinnen und zahlreiche Insekten.

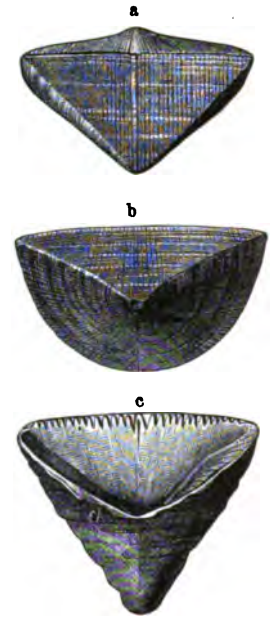
Bei den niederen Tieren des Meeres finden wir wieder nahe Verwandtschaft mit jenen des Devon, wenn auch einzelne Abweichungen wichtig sind. Die Foraminiferen stellen sich zum erstenmal in bedeutender Zahl ein (vgl. Fusulina cylindrica, S. 39); unter den Echinodermen erreichen die Blastoiden ihre höchste Entwickelung (vgl. Pentatrematites, S. 39), und die Seeigel treten etwas mehr hervor. Dagegen läßt sich im ganzen Bereich der Molluskenbevölkerung keine



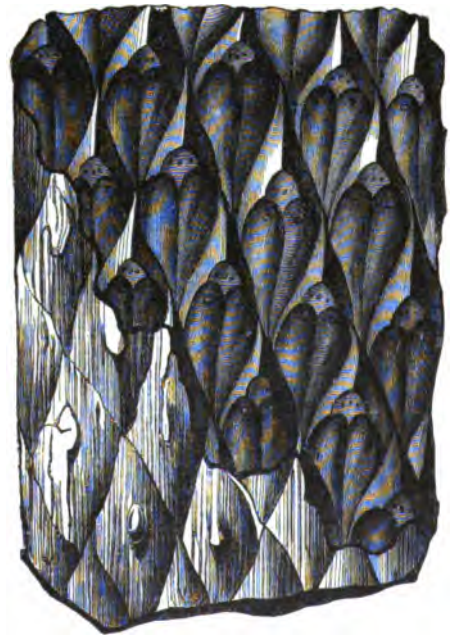
Pterichthys, etwas verkleinert. (Nach Pander.) Vgl. Text, S. 36.



Lecithocrinus Eifelianus. (Nach Schulze.) Vgl. Text, S. 36.



Calceola sandalina: a) Exemplar mit Deckel von der Seite, b) von unten; c) Exemplar ohne Deckel. (Nach Kunth.) Vgl. Text, S. 36.



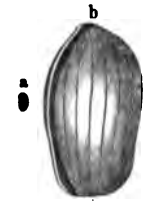
Lepidodendron Sternbergi. Teilweiſe berindetes Stammſtück. (Nach F. Römer.) Vgl. Text, S. 37.

hervorragende Abweichung nennen; nur ſind die Konulariden bedeutend beſchränkt und auch die Nautiliden in geringerer Menge als früher vorhanden; unter den Brachiopoden iſt namentlich die Gattung Productus von Bedeutung. Bei den Kruſtaceen ſind die Eurypteriden ſtark vermindert, die Trilobiten auf ſchwache Reſte reduziert, während die erſten Repräſentanten der hoch organiſierten Schalenkrebſe ſich einſtellen.

Im Bereich der Wirbeltiere machen ſich wichtige Unterſchiede geltend. Unter den Fiſchen ſind die Panzerfiſche nur noch ſchwach vertreten; dagegen ſtoßen wir auf höhere Typen, indem eine Anzahl von Amphibien aus der ausgeſtorbenen Abteilung der Stegocephalen oder Labyrinthodonten auftreten.

5) Die Permformation, in Deutſchland meiſt durch die Porphyre, Sandſteine und Konglomerate des Rotliegenden und den allerdings in vielen Gegenden fehlenden marinen Zechſtein repräſentiert, hat bis jetzt im Vergleich zu den früheren Bildungen eine überaus ärmliche Fauna geliefert, und ſpeziell ſind die marinen Erſcheinungen äußerſt dürftig. Im großen und ganzen kann man das, was wir kennen, als einen verarmten Reſt der Fauna der Kohlenformation bezeichnen, zu dem nur vereinzelt neue Typen

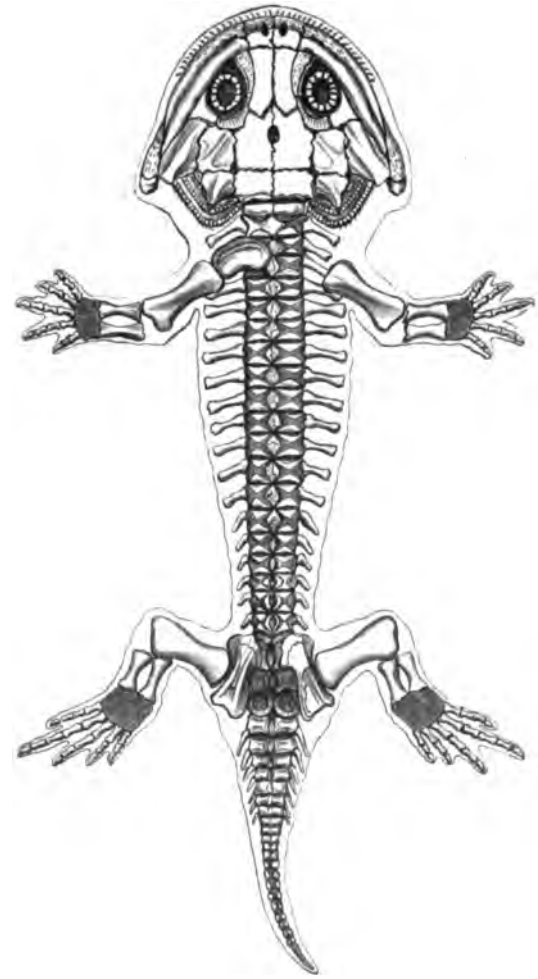
Pentatrematites, etwas vergrößert: a) von oben, b) von der Seite. (Nach F. Römer.) Vgl. Text, S. 37.



Fusulina cylindrica: a) natürl. Größe, b) stark vergrößert. (Nach Möller.) Vgl. Text, S. 37.

hinzutreten. Von Bedeutung sind lediglich die Fische, die äußerst mannigfaltigen Stegocephalen (Branchiosaurus, untenstehend) mancher Lokalitäten sowie das erste sichere Erscheinen von Reptilien.

Diese Armut der permischen Bildungen ist sicher nicht so aufzufassen, als ob damals überhaupt das organische Leben ein bedeutend schwächeres gewesen wäre als zu anderen Zeiten. Jede Formation zeigt sich in einigen Gegenden durch fossilreiche, in anderen durch fossilarme Bildungen vertreten, und letzteres ist gerade in den bis jetzt näher bekannten Distrikten mit den permischen Ablagerungen der Fall; in neuerer Zeit hat man in Armenien und Indien, vielleicht auch in den Alpen, sehr versteinerungsreiche Bildungen gefunden, die sich vermutlich hier einschieben.



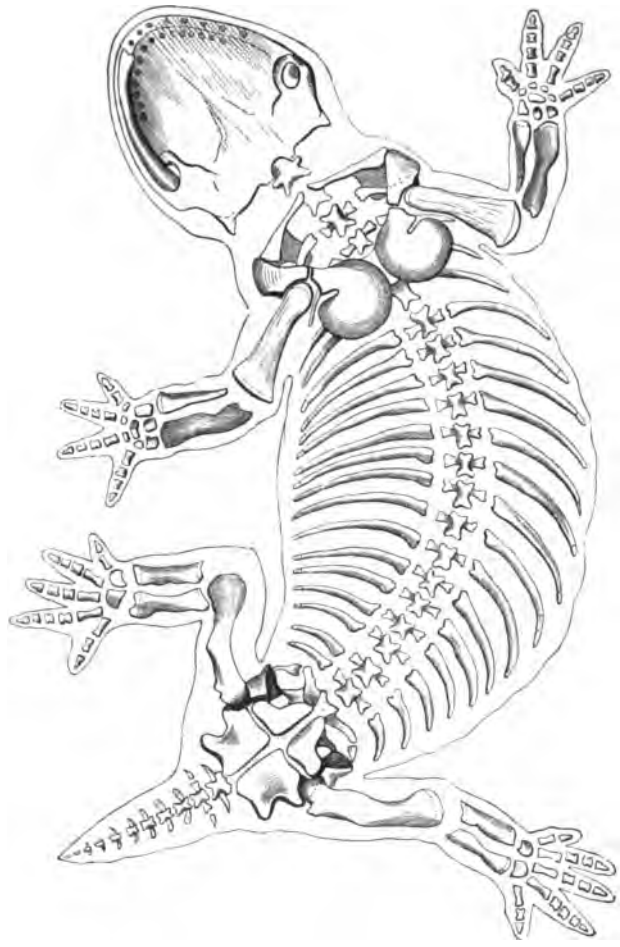
Branchiosaurus aus den permischen Ablagerungen Böhmens, vergrößert. (Nach A. Fritsch.)

III. Mesozoische Periode.

6) Die Triasformation hat ihren Namen von der Dreiteilung erhalten, in welcher sie im außeralpinen Teil von Deutschland auftritt; hier liegt nämlich zu unterst eine überaus versteinerungsarme Sandbildung, der Buntsandstein, darüber Kalke mit sehr zahlreichen Individuen, aber verhältnismäßig wenigen Arten von Fossilien, der Muschelkalk, zu oberst wieder Sandsteine und Thone, der Keuper. Weit fossilreicher, wenigstens im mittleren und oberen Teil, ist die Trias in den Ostalpen. Außerdem sind wir unterrichtet über die Verbreitung der Formation in den Karpathen, in Italien, Frankreich, Spanien, England, Spitzbergen, Nordamerika, Sibirien, Neuseeland, Neukaledonien, Indien und Südafrika. Da die Permformation sehr arm an Fossilien ist und der untere Teil der Trias in den bisher bekannten

Gegenden deren auch nur ſehr wenige geliefert hat, ſo ſtehen wir hier vor einer großen Lücke in der paläontologiſchen Überlieferung. Infolgedeſſen iſt der Kontraſt gegen die paläozoiſche Bevölkerung ein ſehr großer.

Foraminiferen ſind in der Trias vorhanden, aber bis jetzt wenig bekannt. Schwämme findet man ſpärlich, ebenſo Korallen, wenigſtens in gut erhaltenen Reſten; unter ihnen ſcheint die paläozoiſche Abteilung der Rugoſen zu fehlen, für welche die Hexakorallien auftreten; Tabulaten ſind faſt verſchwunden. Von Stachelhäutern ſind Cyſtideen und Blaſtoideen ausgeſtorben; unter den Krinoiden iſt die Familie der Teſſellaten ausgeſchieden und durch die Artikulaten erſetzt (vgl. Encrinus liliiformis, S. 41). Ebenſo iſt unter den Seeigeln an Stelle der paläozoiſchen Paläechinoiden die neue Familie der Euechinoiden getreten, an welchen das Gehäuſe ſtets aus 20 Tafelreihen beſteht. Unter den Brachiopoden iſt eine Reihe von paläozoiſchen Gattungen erloſchen, während die Terebratuliden jetzt die erſte Rolle ſpielen (vgl. Terebratula vulgaris, S. 41); Muſcheln und Schnecken erſcheinen bedeutend zahlreicher als früher und haben eine Reihe charakteriſtiſcher Vertreter aufzuweiſen, von denen wir nur unter den Muſcheln die Halobien und Daonellen nennen wollen (vgl. Daonella Lommeli, S. 41). Bei den Cephalopoden ſind die Nautiliden nun vollſtändig von den Ammonitiden überflügelt, welche hier in vielen und hoch entwickelten Formen auftreten (vgl. Ceratites nodosus und Arcestes, S. 41), und zu denen ſich noch die älteſten Vertreter der Belemnitiden geſellen.



Labyrinthodon Ruetimeyeri aus dem Buntſandſtein der Umgebung von Baſel. (Nach Wiedersheim.) Etwas über 1/4 der natürl. Größe.

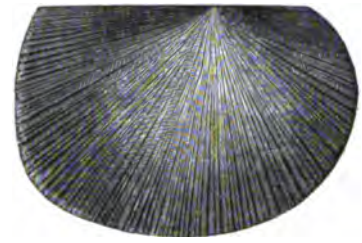
Die Kruſtaceen der Trias ſind noch nicht ſehr bekannt, ihre Entwickelung iſt beſonders durch das Überhandnehmen der hochſtehenden langſchwänzigen Krebſe charakteriſiert.

Die wichtigſten Veränderungen treten uns jedoch bei den höheren Wirbeltieren entgegen. Die Fiſche ſind von den älteren Typen nicht weit verſchieden; es finden ſich namentlich ſchmelzſchuppige Ganoiden und haifiſchähnliche Tiere. Bei den Amphibien ſtoßen wir wie früher auf die Stegocephalen, unter denen hier eine Reihe durch ihre Größe ausgezeichneter Vertreter unſere Aufmerkſamkeit erregt (vgl. Labyrinthodon Ruetimeyeri, oben). Mächtige Entwickelung finden wir dagegen ganz plötzlich bei den Reptilien; hier begegnen uns vor allen die merkwürdigen

Enalosaurier, gewaltige Meerestiere, bei denen die Extremitäten zu breiten, flossenartigen Ruderorganen umgestaltet sind, die an den Ichthyosauriern sechs, an den Sauropterygiern fünf Finger aufweisen; ferner Dinosaurier und eine Anzahl von Formen, welche die Merkmale dieser mit

Ceratites nodosus. Vgl. Text, S. 40.

Terebratula vulgaris. Vgl. Text, S. 40.



Daonella Lommeli. Vgl. Text, S. 40.

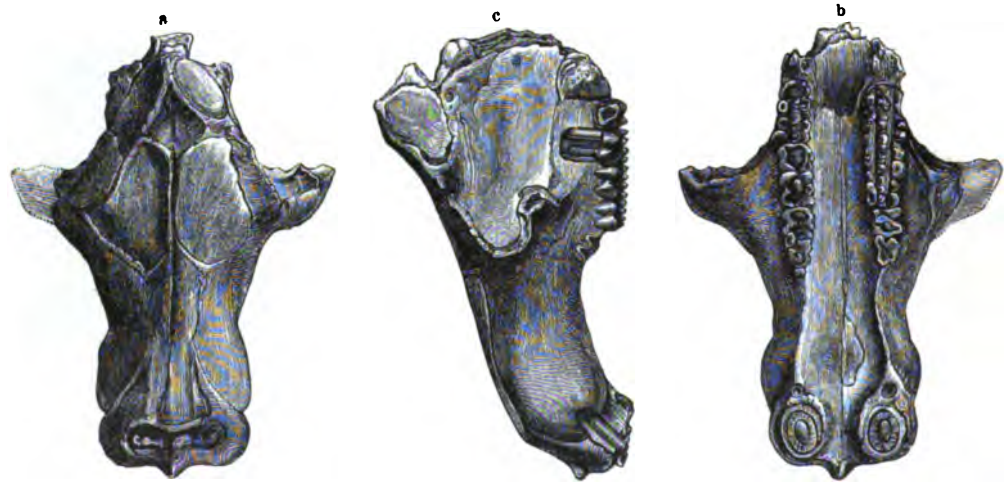
Arcestes: a) von vorn, b) von der Seite. (Nach Mojsisovics.) Vgl. Text, S. 40.

Encrinus liliiformis. Vgl. Text, S. 40.

solchen von Krokodilen und Eidechsen vereinigen. Zu diesen verschiedenartigen Typen treten noch die Flugeidechsen oder Pterodaktylen und vielleicht auch die ersten Schildkröten hinzu. Hat demnach schon die europäische Trias eine große Mannigfaltigkeit von Reptilien geliefert, so gesellt sich zu ihnen in Südafrika und Indien noch eine Reihe ganz abweichender Typen, welche unter

dem Namen der Anomodonten zuſammengefaßt werden (vgl. Lycosaurus, unten). Endlich ſind auch Vertreter der höchſten Klaſſe, der Säugetiere, in Württemberg, England, Südafrika und Nordamerika entdeckt worden, kleine Tierchen, die meiſt zu den Beuteltieren gerechnet werden; die Reſte ſind übrigens meiſt dürftig, ein einziger ziemlich vollſtändiger Schädelreſt aus Südafrika iſt unter dem Namen Tritylodon (ſ. Abbildung, unten) beſchrieben worden und gehört einem durchaus fremdartigen Typus an.

Schädel von Lycosaurus aus der Trias von Südafrika: a) von der Seite, b) von vorn, c) ein einzelner Zahn. (Nach R. Owen.)



Schädel von Tritylodon, einem Säugetier aus der Trias von Südafrika: a) von oben, b) von unten, c) von der Seite. (Nach R. Owen.)

7) Die Juraformation, deren unterer Teil, der Lias, bisweilen als eine ſelbſtändige Formation behandelt wird, iſt faſt in ganz Europa verbreitet und auch in allen anderen Erdteilen nachgewieſen. Gerade in den am beſten unterſuchten Gegenden zeichnet ſie ſich durch außerordentlichen Foſſilreichtum aus, und deshalb iſt die Zahl der bekannt gewordenen Formen eine ſehr große. Die winzigen Gehäuſe der Foraminiferen ſind in Menge vorhanden; die Glasſchwämme finden ſich in manchen Diſtrikten, namentlich im oberen Jura, in ſolchen Maſſen, daß ihre Reſte mächtige Schichtſyſteme erfüllen; ebenſo treffen wir eine überaus reiche Entwickelung der ſechsſtrahligen Korallen, von denen uns aus dem oberen Jura Anhäufungen bekannt ſind, die

zur Vergleichung mit den Riffen der Jetztzeit auffordern. Die Krinoiden treten ebenfalls sehr häufig auf, und einzelne derselben erreichen eine Größe, wie wir sie aus keiner anderen Formation kennen; doch ist die Mannigfaltigkeit derselben seit der Kohlenformation in starker Abnahme begriffen. Die Seeigel dagegen erlangen hier zum erstenmal große Bedeutung durch die Häufigkeit ihres Vorkommens in manchen Gegenden und durch ihren Formenreichtum. Die dominierende Abteilung derselben sind die regulären Formen (vgl. Cidaris coronata, S. 45), bei welchen der After im Zentrum der Oberseite gelegen ist, während unregelmäßige Formen mit exzentrischem After, die hier auftauchen und den Familien der Galeritiden, Kassiduliden und Disasteriden angehören, gegen jene stark zurücktreten (vgl. Collyrites, S. 44).

Amaltheus margaritatus.

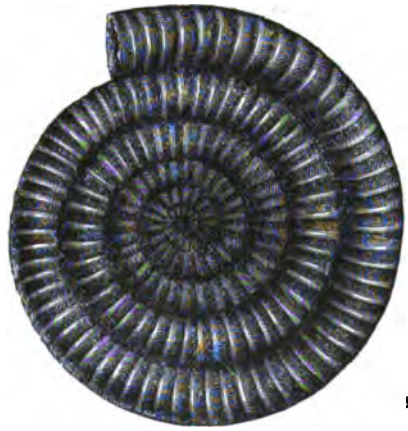
Trigonia navis.

In großartigster Ausbildung treten uns die Mollusken entgegen; unter den Brachiopoden ist die Menge der verschiedenen Typen allerdings keine sehr große, da eine bedeutende Anzahl paläozoischer Gattungen, die noch in die mesozoische Zeit hereinragen, teils mit Schluß der Trias ausgestorben sind, teils im Lias verschwinden, so daß vorwiegend die einseitige Entwickelung der Terebratuliden und Rhynchonelliden eine stattliche Artenzahl liefert. Bei den Muscheln ist wichtig, daß sich die Formen mit Mantelbucht zum erstenmal in bedeutender Menge einstellen. Unter den zahllosen anderen Formen mögen noch die Diceraten und Trigonien (vgl. Trigonia navis, nebenstehend) als charakteristisch bezeichnet werden. Nicht minder groß ist die Zahl der Schnecken, von denen wir zwei Arten hervorheben wollen: die Pleurotomarien (vgl. Pleurotomaria anglica, S. 44), welche in der Gegenwart sehr selten geworden sind, und die Nerineen, die namentlich in allen Korallenbildungen eine große Rolle spielen, jetzt aber vollständig erloschen sind. Unter den Cephalopoden sind die Nautiliden bis auf die eine Gattung Nautilus verschwunden, während die Belemnitiden (vgl. Belemnites calloviensis, S. 44) und Ammonitiden ihre höchste Blüte erreichen (vgl. Amaltheus margaritatus, oben, Arietites spiratissimus, S. 44, und Stephanoceras Brongniarti, S. 45). Einige wenige Lokalitäten lieferten eine große Menge von Krustaceen, unter denen die langschwänzigen Krebse dominieren, sowie zahlreiche Insekten.

Unter den Fischen sind dieselben Familien vorhanden wie in der Trias; dazu gesellen sich noch die ältesten Knochenfische oder Teleostier, Repräsentanten derjenigen Abteilung, welcher jetzt die große Mehrzahl aller Fische angehört. Die Stegocephalen, welche von der Kohlenformation

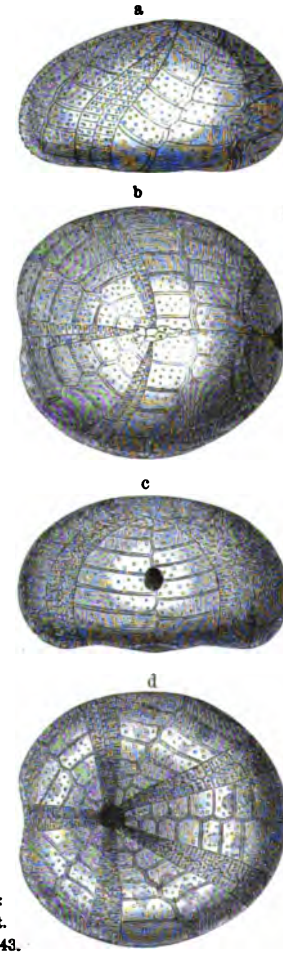
bis zur Trias eine ſo wichtige Rolle geſpielt haben, ſind verſchwunden, und es fehlen auffallenderweiſe alle Amphibien. Von Reptilien ſind die Anomodonten ausgeſchieden, die übrigen Abteilungen dagegen ſtärker entwickelt als in der Trias, ſei es nun, daß in der Jurazeit wirklich mehr und größere Formen lebten, oder ſei es, daß einige Stellen des Jura ſich durch die beſonders gute Erhaltung der Wirbeltierknochen auszeichnen (vgl. Plesiosaurus, S. 45). In den höchſten Teilen des Jura, im lithographiſchen Schiefer von Solnhofen, haben ſich die

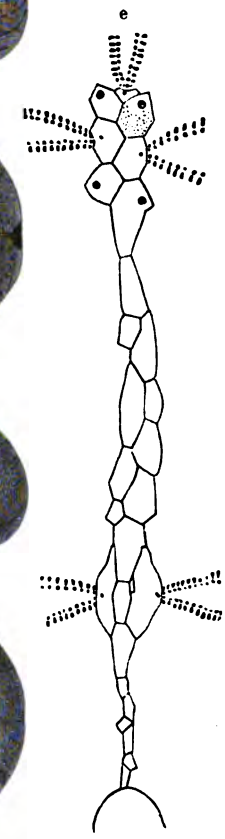
Pleurotomaria anglica. Vgl. Text, S. 43.



Arietitis spiratissimus. Vgl. Text, S. 43.

Belemnites calloviensis: a) Querſchnitt. Vgl. Text, S. 43.





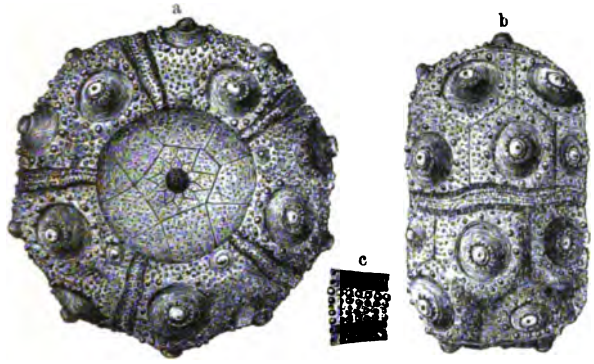
Collyrites: a) von der Seite, b) von oben, c) von hinten, d) von unten; e) der Scheitelapparat, vergrößert. Vgl. Text, S. 43.

älteſten Vogelreſte in dem berühmten Archaeopteryx (S. 46) erhalten, einem Tier, bei dem das Vorhandenſein eines Eidechſenſchweifes, einer Bezahnung in den Kiefern und manches andere noch ſehr an Reptilien erinnert. Kleine Säugetiere, ähnlich denjenigen der oberen Trias, haben ſich auch im Jura gefunden.

8) Die Kreideformation hat in ihrer Fauna große Ähnlichkeit mit derjenigen des Jura; es mögen daher nur die weſentlichſten Abweichungen hervorgehoben werden.

Unter den Seeigeln treten zwei neue Gruppen auf, die Ananchytiden und die Spatangiden (vgl. Ananchytes ovatus, S. 48, und Toxaster complanatus, S. 47), und im allgemeinen iſt ein ſtarkes Hervortreten der Irregulären zu bemerken. Unter den Mollusken fällt bei den

Muſcheln vor allen anderen die eigentümliche Familie der Rudiſten auf (vgl. Hippurites cornu vaccinum, S. 47), deren Angehörige ausſchließlich der Kreidezeit eigen ſind; neben ihnen iſt namentlich die Gattung Inoceramus durch ihre ſtarke Entwickelung charakteriſtiſch (vgl. Inoceramus concentricus, S. 48). Bei den Schnecken iſt neben einigen eigentümlichen Gattungen, wie Actaeonella und Avellana, namentlich das Auftreten einer größeren Anzahl noch jetzt lebender Gattungen ſowie das Vorhandenſein zahlreicher Landſchnecken bemerkenswert. Unter den Cephalopoden überraſcht uns die Menge von Ammonitiden, deren Schalen die normale Spirale verlaſſen (vgl. Crioceras Roemeri, S. 47). Die Kruſtaceen haben eine beträchtliche Anzahl von Krabben geliefert.



Cidaris coronata: a) von oben, b) von der Seite; c) Ambulacralzone, vergrößert. (Nach Quenſtedt.) Vgl. Text, S. 43.

Stephanoceras Brongniarti. Vgl. Text, S. 43.

Plesiosaurus aus dem unteren Lias Englands. (Nach Sollas.) Stark verkleinert. Vgl. Text, S. 44.

Die Fiſchfauna der Kreidezeit erhält dadurch ein ſehr charakteriſtiſches Gepräge, daß die Teleoſtier oder Knochenfiſche in großer Zahl vorkommen und namentlich die ſchmelzſchuppigen Ganoiden zurückdrängen. Während von Amphibien hier ſo wenig wie aus dem Jura etwas bekannt iſt, ſind die Reptilien (vgl. Iguanodon, S. 48) wieder überaus ſtark entwickelt, und zu den früheren Repräſentanten treten noch zwei neue Abteilungen hinzu, diejenige der ſogenannten Moſaſauriden ſowie die erſten Schlangen. Vögel wurden mehrfach gefunden, doch ſind gut erhaltene Reſte bis jetzt nur aus den weſtlichen Territorien der Vereinigten Staaten von Nordamerika bekannt (vgl. Ichthyornis, S. 47); bei allen ſcheinen Zähne in den Kiefern vorhanden geweſen zu ſein. Säugetiere, die wir aus der Trias- und Juraformation kennen, hat die Kreidezeit bisher noch nicht geliefert.

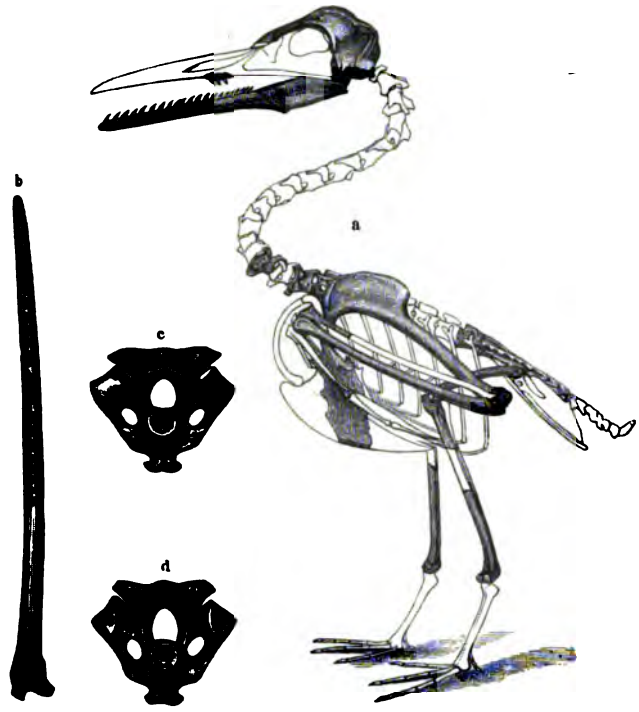
Für die Entwickelung der Landflora bildet die Mitte der Kreideformation in vielen Gegenden der Erde einen wichtigen Wendepunkt, indem hier plötzlich zahlreiche Laubbäume und andere

Archaeopteryx von Solnhofen. (Nach Dames.) Nicht ganz 2/3 der natürl. Größe. Vgl. Text, S. 44.

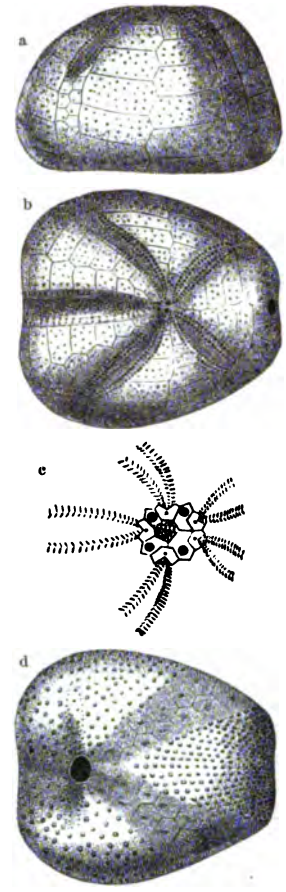
Vertreter der großen Abteilung der Dikotyledonen auftreten. Vereinzelt kommen sie allerdings schon in der Unterkreide, ja selbst im Oberjura vor.

IV. Känozoische Periode.

9) Die Tertiärformation, die sich in der ganzen Entwickelung der Tier- und Pflanzenwelt den jetzigen Verhältnissen nähert, wird in vier aufeinander folgende Unterabteilungen



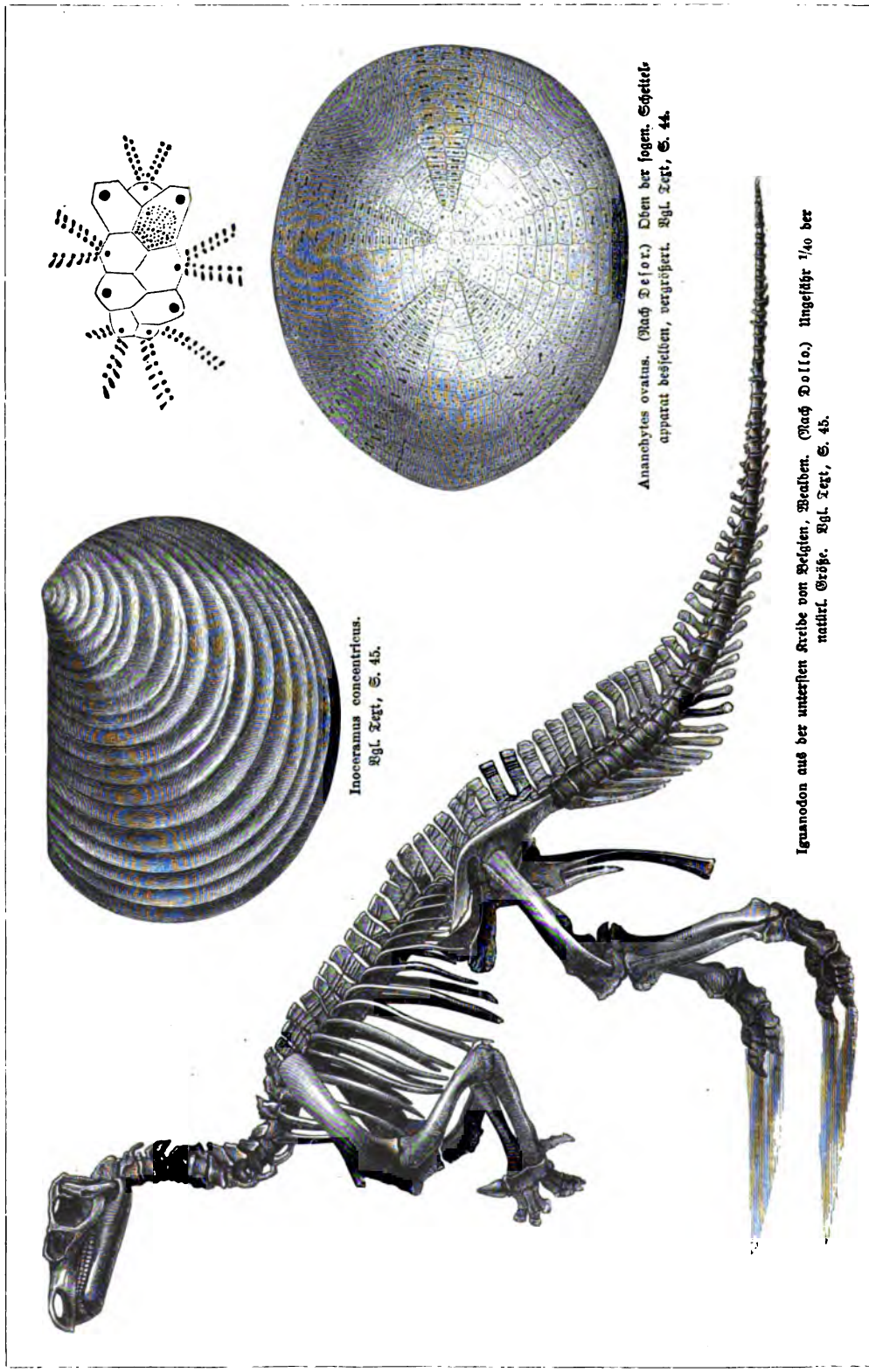
Ichthyornis aus der oberen Kreide von Kansas: a) restauriertes Skelet, 1/5 natür. Größe; b) Unterkiefer, von oben gesehen, mit den Zahngruben; c) bikonkaver Wirbel, von vorn, und d) von hinten gesehen. (Nach Marsh.) Vgl. Text, S. 45.



Toxaster complanatus: a) von der Seite, b) von oben, c) Scheitelapparat, d) von unten. (Nach Desor.) Vgl. Text, S. 44.

Crioceras Roemeri. Vgl. Text, S. 45.

Hippurites cornu vaccinum. Vgl. Text, S. 45.



Iguanodon aus der unterſten Kreide von Belgien, Bealben. (Nach Dollo.) Ungefähr 1/40 der natürl. Größe. Vgl. Text, S. 45.

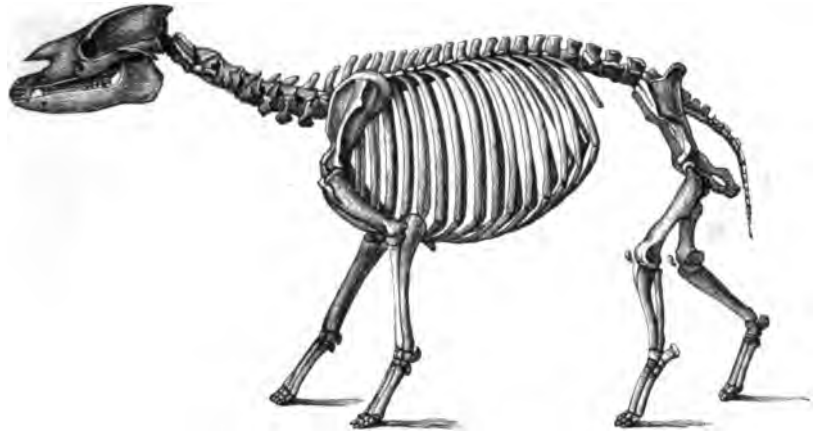
Inoceramus concentricus. Vgl. Text, S. 45.

Ananchytes ovatus. (Nach Defor.) Oben der ſogen. Scheitelapparat beſeſtigt, vergrößert. Vgl. Text, S. 44.

gebracht, das Eocän, Oligocän, Miocän und Pliocän.[1] Der Abstand gegen die Fauna der mesozoischen Ablagerungen ist außerordentlich groß und wird wohl am besten dadurch charakterisiert, daß wir kurz die wichtigsten Typen aufzählen, die in der Kreidezeit noch eine große Rolle spielten, im Tertiär dagegen verschwunden oder (was in der nachstehenden Übersicht durch ein Sternchen [*] angedeutet ist) sehr stark reduziert sind.

Unter den Seeigeln sind es die Salenien*, Ananchytiden*, Galeritiden* und Dysasteriden; von Muscheln die Rudisten, Trigonien* und Inoceramen; von Schnecken die Pleurotomarien*, Nerineen, Aktäonellen; von Cephalopoden die Ammonitiden und Belemnitiden*; von Fischen die Ganoiden*; von Reptilien die Sauropterygier, Ichthyopterygier, Dinosaurier, Pterosaurier und Mosasaurier; endlich die Vögel mit Zähnen.

Weitaus die merkwürdigste Thatsache, welche wir aus dieser Zusammenstellung kennen lernen, ist der außerordentliche Rückgang der Reptilien, deren neun in der Kreidezeit vorhandene



Palaeotherium magnum aus dem Gips des Montmartre in Paris. 1/25 der natürl. Größe. (Nach Gaudry.)

Ordnungen auf vier zusammengeschmolzen sind. An ihre Stelle treten die Säugetiere, welche nun in Masse erscheinen und unter den Landbewohnern die dominierende Rolle spielen. Dieselben gehören im Eocän und Oligocän fast durchgehends inzwischen ausgestorbenen Gattungen an (vgl. das tapirähnliche Palaeotherium magnum, oben), im Miocän treten dazu viele jetzt lebende Gattungen, im Pliocän endlich sind die letzteren vorherrschend, während die Arten noch samt und sonders von den heutigen verschieden sind.

Bei den wirbellosen Tieren ist die Annäherung an die jetzigen Verhältnisse eine sehr große; ja, fast die einzige auffallende Verschiedenheit auf diesem Gebiet besteht in dem massenhaften Auftreten der durch ihre Größe ausgezeichneten Foraminiferengattung Nummulites, deren Angehörige im älteren Tertiär durch die Anhäufung ihrer zahllosen Schalen geradezu gebirgsbildend wirkten. Die große Mehrzahl der Gattungen stimmt bei den Wirbellosen schon im Eocän mit denen der Jetztzeit überein, und vom Miocän an treten auch zahlreiche identische Arten auf. In Europa hat die Bevölkerung der Eocänzeit einen entschieden tropischen Charakter, im Miocän und Pliocän scheint die Temperatur niedriger als im Eocän, aber doch höher als jetzt gewesen zu sein.

10) Die Quartär- oder Diluvialformation zeigt in den Organismen noch weit größere Übereinstimmung mit der Jetztzeit. Die große Mehrzahl aller Arten stimmt mit heute lebenden

[1] Vom griechischen ἠώς (ēō's), Morgenröte, und καινός (kainós), neu; ὀλίγος (oligos), wenig, und καινός; μείων (méiōn), weniger, und καινός; πλείων (pléiōn), mehr, und καινός.

überein, und nur unter den Säugetieren finden sich viele jetzt ausgestorbene Arten (vgl. Rhinoceros antiquitatis, unten). In die Quartärformation fällt die Eiszeit und das erste Auftreten des Menschen; von ihr führen allmähliche Übergänge zur Gegenwart herüber.

Lagerungsverhältnisse.

Nur in kürzesten Zügen konnten die wichtigsten Hauptabteilungen der Schichtfolge charakterisiert und einige Abbildungen beigegeben werden, die den Leser in den Stand setzen sollen, eine Vorstellung an die Namen zu knüpfen; in derselben Weise mögen nun noch die hauptsächlichsten Lagerungsverhältnisse kurz geschildert werden.

Skelet von Rhinoceros antiquitatis aus der Gegend von Mühldorf am Inn.

Die Flözgesteine sind, wie es der Natur ihrer Ablagerung auf dem flachen Boden des Meeres entspricht, bis auf verschwindende Ausnahmen ursprünglich entweder vollständig horizontal gelagert, oder die Neigung der Schichten ist wenigstens so gering, daß sie in der Nähe für das Auge nicht wahrnehmbar wird und erst deutlich hervortritt, wenn man dieselbe Schicht auf weite Strecken verfolgt. Die Dicke (Mächtigkeit) der einzelnen Schichten bleibt sich häufig auf große Entfernungen gleich, in vielen Fällen dagegen schwellen sie bald rascher, bald langsamer an oder nehmen an Mächtigkeit ab. Man beobachtet sogar bisweilen, daß sich eine einzelne oder eine ganze Gruppe derselben ganz verliert, nachdem sie vorher an Volumen stark abgenommen hat; ein solches Sichausspitzen einer Schicht wird in der geologischen Sprache als „Auskeilen" bezeichnet. Die beistehenden Zeichnungen sind bestimmt, dieses Verhältnis an zwei Beispielen zu veranschaulichen: die erste (S. 51) zeigt, wie in einem Schichtsystem einige Bänke sich verlieren und andere für sie einsetzen, die zweite und dritte (S. 52) stellen einen der gewaltigen Dolomitberge Südtirols vor, den 2559 m hohen Set Saß bei St. Cassian im Abteithal. Derselbe besteht aus einer gewaltigen Masse von Dolomit der oberen Trias, welcher auf horizontal gelagerten, den sogenannten Cassianer Mergeln ruht. Nach links vorgeschoben, tritt eine niedrigere Dolomitkuppe auf, das „Richthofen-Riff", das jedoch mit der Hauptmasse des Set Saß nicht im Zusammenhang steht, sondern durch Mergel von dieser getrennt ist. Die Lagerung ist derart, daß

der Dolomit des Set Saß die oberste, jüngste Schicht bildet, unter diesem Mergel und unter letzteren der Dolomit des Richthofen-Riffes folgen; auch unter diesem treten nochmals die Mergel auf. Verfolgen wir nun die Dolomite des Riffes auf der Zeichnung nach rechts, so sehen wir, daß dieselben rasch an Dicke abnehmen und als schmale Zunge zwischen den Mergeln verschwinden; die Dolomite *keilen* zwischen den Mergeln *aus*, und eine derartige Gesteinspartie, welche bei verhältnismäßig großer Mächtigkeit geringe horizontale Verbreitung hat und nach allen Seiten auskeilt, bezeichnet man als eine „*Linse*".

Das Verhalten der Dolomite zu den Mergeln am Set Saß wurde hier durch eine Landschaftszeichnung erläutert. Eine solche gibt natürlich unter günstigen Verhältnissen eine überaus anschauliche Vorstellung, jedoch nicht allenthalben läßt sich diese Methode verwenden; nicht jeder Geolog ist ein gewandter Landschaftszeichner oder kann auf seinen Exkursionen einen photographischen Apparat mit sich führen; überdies kostet eine Aufnahme in der einen oder anderen Weise immer viel Zeit. Aber abgesehen davon wird z. B., wenn viel Vegetation vorhanden ist, über-

Auskeilende Schichten. (Nach Hayden.) Vgl. Text, S. 50.

haupt auf eine gewisse Entfernung nichts von der Lagerung zu erkennen sein; in diesem Falle, oder wenn Verhältnisse, die nicht von einem Punkte aus überblickt werden können, doch im Zusammenhang dargestellt werden sollen, bedient man sich der *Durchschnitte* oder *Profile*, welche bei geologischen Schilderungen in ausgedehntester Weise zur Anwendung kommen. Man denkt sich das Terrain, dessen Bau veranschaulicht werden soll, senkrecht durchschnitten und stellt nun diese Schnittfläche, wie sie sich nach dem Resultat der Untersuchungen theoretisch ergeben würde, in der Zeichnung schematisch dar.

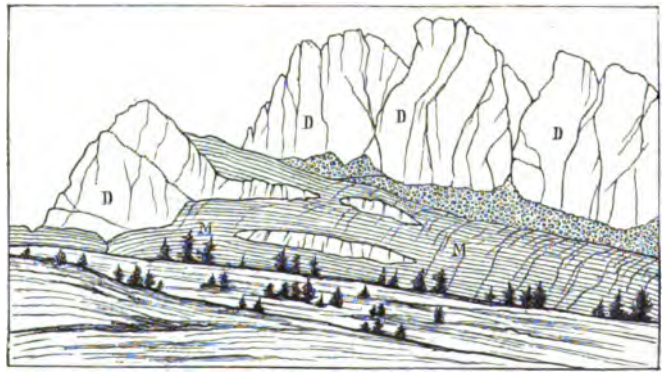
Es gehört nur ein geringer Grad von Übung dazu, um sich mit dem Wesen eines solchen Durchschnitts vertraut zu machen, und da wir sehr oft genötigt sein werden, uns dieses Hilfsmittels zu bedienen, so müssen wir uns hier mit dem Gegenstand etwas näher beschäftigen. Die Zeichnung auf S. 52, unten, stellt im Profil die Verhältnisse vom Set Saß und Richthofen-Riff dar, und ein Vergleich derselben mit der darüberstehenden landschaftlichen Darstellung wird leicht ihre Bedeutung erkennen lassen.

Bei der Zeichnung geologischer Profile gilt es als Regel, dieselben so weit als irgend möglich im natürlichen Verhältnis von horizontaler Erstreckung und senkrechter Höhe zu halten, da nur auf diesem Wege eine richtige Darstellung erzielt werden kann. Allerdings ist dies nicht immer durchführbar; wenn man z. B. Forschungen in einem wenig zivilisierten Lande vornimmt, von dem keine oder nur wenig genaue topographische Karten existieren, so fehlt überhaupt die Grundlage für die Einhaltung der natürlichen Verhältnisse, und ähnlich steht es, wenn man nur den Hauptcharakter einer Gegend nach den Eindrücken einer raschen Rekognoszierung wiedergeben

will. Endlich sind die Terrainverschiedenheiten in niedrigen Hügelländern in der Regel so gering, daß es schwierig wird, bei Durchschnitten durch größere Strecken alle Einzelheiten der Beobachtung in einem Profil im natürlichen Verhältnis zum Ausdruck zu bringen, und viele Geologen nehmen in diesem Falle zu dem Hilfsmittel ihre Zuflucht, die senkrechten Abstände in

Set Saß mit dem Richthofen-Riff. (Nach Mojsisovics.) Vgl. Text, S. 50.

zwei- oder dreimal so großem Maßstab darzustellen als die horizontalen Entfernungen. Immerhin muß man im Gedächtnis behalten, daß dies eine naturwidrige Verzerrung ist, die leicht zu falschen Vorstellungen führt, weshalb diese Methode nur im Notfall zur Anwendung gebracht werden darf.



Schematische Profilzeichnung des Set Saß mit dem Richthofen-Riff: D Dolomit; M Mergel. (Nach Mojsisovics.) Vgl. Text, S. 50.

Eine dritte Methode endlich, geologische Verhältnisse darzustellen, ist die Anfertigung geologischer **Karten**, auf welchen der Raum eingezeichnet wird, den jedes Gestein an der Oberfläche einnimmt. Sie gehören in theoretischer wie in praktischer Beziehung zu den wichtigsten Hilfsmitteln der Geologen, und nicht umsonst wendet man jetzt allgemein große Mittel auf, um alle Länder in dieser Weise systematisch aufzunehmen. Für denjenigen, welcher große Übung in deren Benutzung hat, ergibt schon die Ansicht einer guten geologischen Karte den Bau eines Landes; doch ist ein leichterer Überblick in dieser Beziehung nur durch die Kombination derselben mit Profilen möglich.

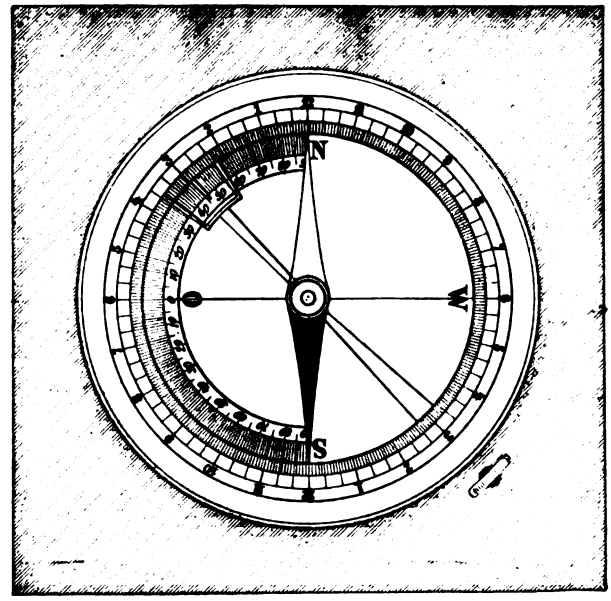
Die ursprüngliche Lagerung fast aller Schichten ist zwar eine horizontale, aber infolge der Vorgänge der Gebirgsbildung im weitesten Sinne treten sehr häufig spätere Veränderungen ein: die Schichten werden aufgerichtet, gebogen, geknickt ꝛc., sie erleiden „**Störungen**“, wie der

technische Ausdruck lautet. Die Ursachen solcher Vorgänge werden wir später eingehend besprechen, hier kommt es nur darauf an, die äußeren Erscheinungen und die geologische Betrachtungs- und Bezeichnungsweise derselben kennen zu lernen.

Wenn wir aufgerichtete, mehr oder weniger geneigte Schichten (s. untenstehende Abbildung) ins Auge fassen, wie sie zu den häufigsten Erscheinungen gehören, so ist an ihnen eine Reihe von Verhältnissen zu beobachten, deren genaue Feststellung zu den wichtigsten Aufgaben des untersuchenden Feldgeologen gehört. Vor allem gehört hierher die Richtung, nach welcher sich die Bänke in horizontaler Richtung erstrecken, „das Streichen“, und der Winkel, unter dem sie geneigt sind, „das Fallen“, wie die Geologen, oder „das Verflächen“, wie die Bergleute in der Regel sagen.

Geneigte Schichten.

Die Richtung oder das Streichen der Schichten wird dadurch bestimmt, daß man auf einer entblößten Schichtfläche die Direktion einer horizontalen Linie bestimmt, was durch ein sehr einfaches Instrument, den Bergkompaß (s. untenstehende Abbildung), geschieht. Dies ist ein ziemlich großer Kompaß, der entweder auf einer rechtwinkeligen Messingplatte angebracht oder, was zweckmäßiger erscheint, in einem viereckigen, zuklappbaren Holzkästchen untergebracht ist. Die Nordsüdlinie des Kompasses läuft der einen Seite des Kästchens oder der Platte genau parallel, und die Messung wird einfach so vorgenommen, daß man die rechteckige Unterlage des Kompasses horizontal an die Schichtfläche anlegt und nun nachsieht, wie weit sich der Nordpol der Nadel von der auf dem Boden des Kompaßgehäuses eingravierten Nordsüdlinie entfernt. Um dies direkt ablesen zu können, läßt man das Instrument gewöhnlich so gestalten, daß Osten und Westen verkehrt, d. h. ersterer links, letzterer rechts von der Nordlinie angebracht sind; die weitere Einteilung des Umkreises geschieht entweder in 24 Stunden, die weiter in je 15 Grade geteilt werden, oder sie gibt nur die 360 Grade des Horizontes an. Der sogenannte Freiberger Kompaß hat eine Einrichtung, durch welche die Streichungsrichtung sehr bequem einfach durch Angabe der Stunde bestimmt wird; sagt man z. B., eine Schicht streicht Stunde 9, so bedeutet dies ein von Südosten nach Nordwesten gerichtetes Streichen, und man braucht zur völligen Feststellung nur noch die Angabe, ob dabei die Neigung nach Nordosten oder nach Südwesten geht.



Bergkompaß.

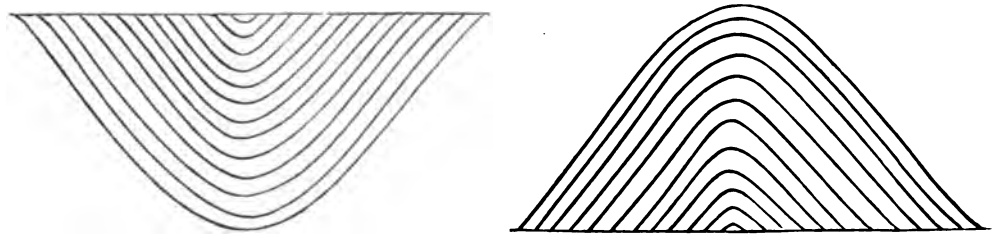
Zur Bestimmung des Fallens ist am Bergkompaß ebenfalls eine kleine Vorrichtung angebracht; die Magnetnadel wird mit Hilfe einer kleinen Schraube arretiert und der Kompaß nun

mit der einen Seite senkrecht in der Fallrichtung der zu messenden Schicht aufgestellt, so daß ein kleiner Senkel, der im Inneren angebracht ist, spielen und sich einstellen kann. Eine Gradeinteilung, über welche der Senkel läuft, gestattet die Ablesung; ehe diese Messung vorgenommen wird, muß natürlich zuerst die Fallrichtung, d. h. die stärkste Neigung der Schicht, die mit dem Streichen einen rechten Winkel bildet, bestimmt werden.

Die Resultate solcher Bestimmungen, welche die Grundlage jeder geologischen Forschung in einem Terrain mit geneigten Schichten ausmachen, werden allgemein durch ein bestimmtes Symbol in die Karten eingetragen: ein einfacher Strich bezeichnet das Streichen, ein dazu senkrechter Pfeil das Fallen und eine Zahl daneben den Fallwinkel; so bedeutet z. B. das Symbol ↗ 45° eine Schicht, die nordwestsüdöstlich streicht und unter 45° nach Nordosten einfällt.

Überkippte Schichten am East River in Colorado, Nordamerika: 1) Silur; 2) Kohlenformation; 3) Trias; 4) Jura; 5) Kreide. (Nach Peale.)

Allein nicht nur einfache Aufrichtung unter einem mehr oder weniger spitzen Winkel kommt vor, sondern man trifft auch vielfach den Fall, daß die Schichten ganz senkrecht („seiger", „auf dem Kopfe") stehen; ja, die Störung kann so weit gehen, daß eine vollständige Umwälzung, eine „Überkippung" der Schichten eintritt in der Weise, daß nun die jüngeren Ablagerungen zu

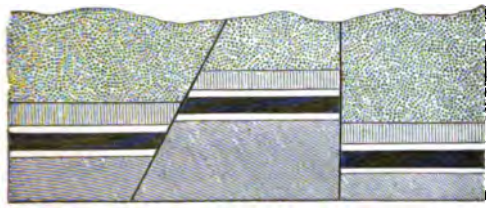


Synklinale und Antiklinale. Vgl. Text, S. 55.

unterst liegen und von den älteren bedeckt werden. Ein großartiges Beispiel dieses Verhältnisses zeigt die obere Abbildung, in welcher die Schichten der Kreideformation zu unterst liegen; diese werden von Jura- und Triasschichten bedeckt, welche ihrerseits von der Kohlenformation und dem Silur überlagert sind; nach links im Hintergrunde gehen dann die Kreidebänke aus der überkippten in senkrechte und dann in normale Lage über.

Häufig findet man die Ablagerungen einfach aufgerichtet, weit öfter aber treten Störungen komplizierterer Art ein. Vor allem ist es die Bildung von Faltungen und Knickungen, welche den Bau vieler der bedeutendsten Gebirge beherrscht; was unter diesen Ausdrücken zu verstehen ist, bedarf wohl keiner ausführlichen Beschreibung und wird weit besser, als durch eine solche, durch die Profile und Landschaftszeichnungen oben und S. 55, rechts dargestellt. Die geneigten Schichtenteile, welche durch eine gewölbte Partie zu einer Falte miteinander vereinigt werden, bezeichnet man als die Schenkel einer Falte. Eine Falte, bei welcher die beiden Schenkel voneinander wegfallen und der gewölbte Teil konvex nach oben gerichtet ist, heißt ein Sattel oder eine

Abstoßende Lagerung. Vgl. Text, S. 57.



Verwerfungen oder Brüche. Vgl. Text, S. 57.

Verwerfung mit Schleppung der Schichten. Vgl. Text, S. 57.

Antiklinale und Synklinale aus dem Big Thomson Creek in Colorado, Nordamerika. (Nach Hayden.) Vgl. Text, S. 54.

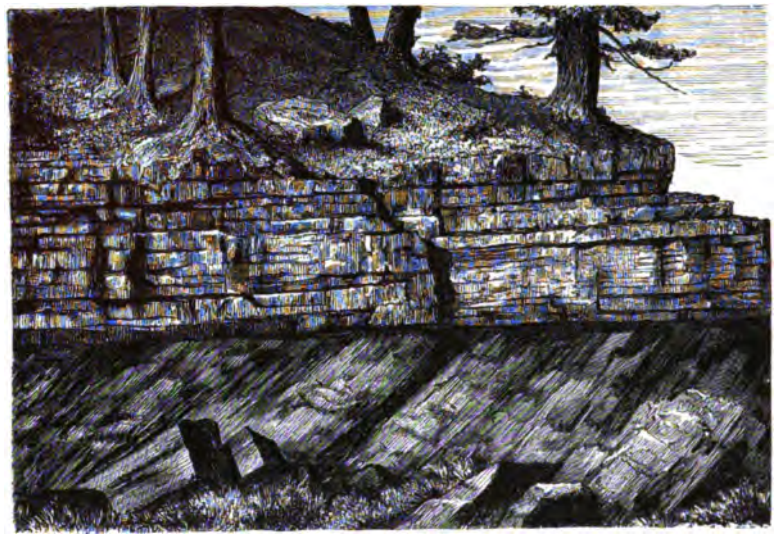
Aufgebrochene Antiklinalfalte aus dem Felsengebirge in Idaho, Nordamerika. (Nach St. John.) Vgl. Text, S. 54.

Antiklinalfalte, während im entgegengesetzten Falle, wenn die Schenkel gegeneinander gerichtet sind und der gewölbte Teil der Falte konvex nach unten gekehrt ist, eine Synklinalfalte oder Synklinale vorliegt (vgl. Abbildung, S. 54, unten).

Von der Faltung unterscheidet sich die Knickung der Schichten dadurch, daß die geraden Schenkel hier nicht durch eine gebogene Partie miteinander verbunden, sondern winkelig gegeneinander abgesetzt sind, wie aus der Abbildung auf S. 10 ersichtlich ist.

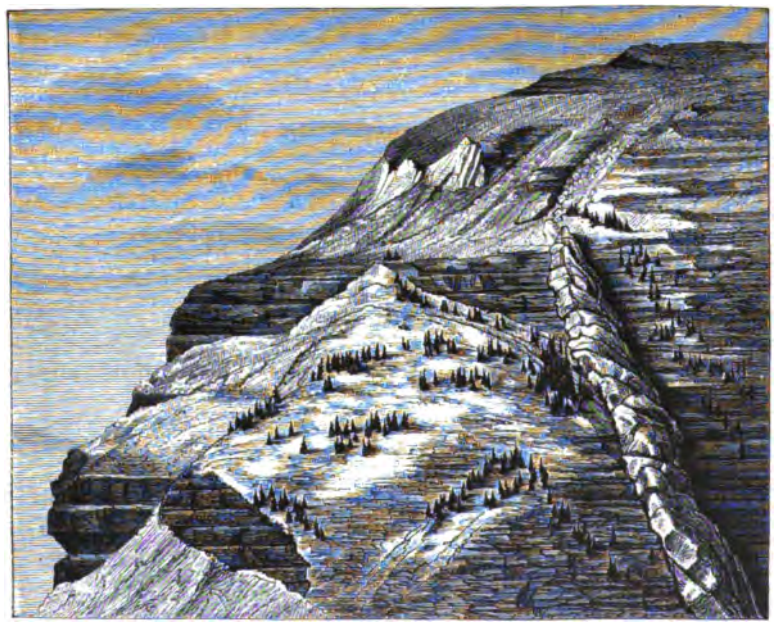
Die nebenstehenden Zeichnungen sind bestimmt, die Art und Weise zu erläutern, wie Falten in der Natur auftreten; in beiden Fällen handelt es sich um die Darstellung von Verhältnissen in den westlichen Territorien der Vereinigten Staaten von Nordamerika. Die erste derselben zeigt eine einfache Antiklinale mit ziemlich steil gestellten Schenkeln. Hier ist aber durch Verwitterung

und Abschwemmung die gewölbte Decke der Falte zum großen Teil abgetragen, so daß die jüngeren Schichten, die in dieser Falte vertreten sind, keine zusammenhängende Decke bilden; ihre Schichtköpfe ragen nach aufwärts, das Gewölbe, das sie beiderseits verbinden sollte, fehlt, sie bilden einen „Luftsattel".



Ungleichmäßige Überlagerung. Vgl. Text, S. 57.

Die zweite Abbildung stellt eine Kombination einer antiklinalen und einer synklinalen Falte dar. Auf der linken Seite bildet die geschlossene Antiklinale einen Berg, die Einsenkung zu seiner Rechten entspricht der Mitte der synklinalen Falte, durch welche in dem Höhenzug rechts die Schichten wieder zu Tage gebracht werden.



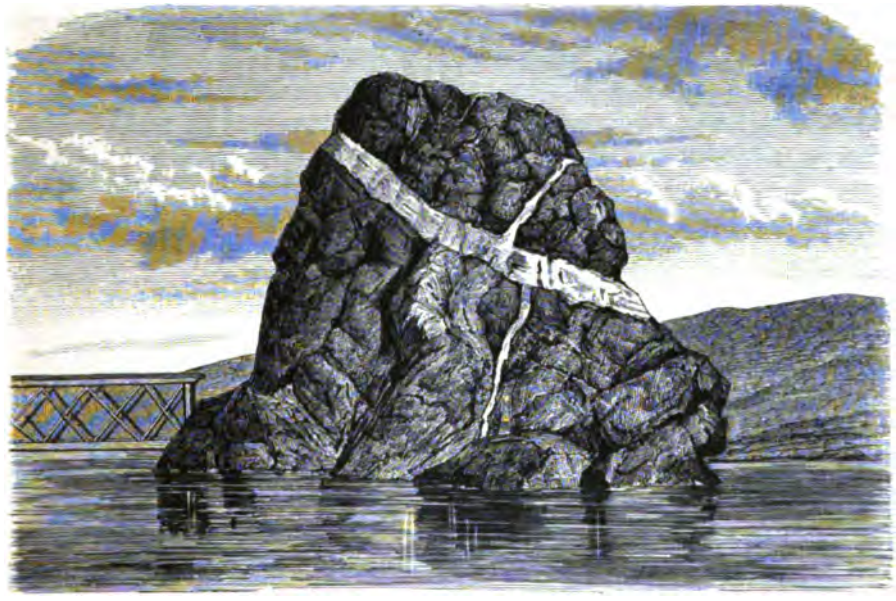
Ein Gang, horizontale Schichten durchsetzend. (Nach Hayden.)
Vgl. Text, S. 58.

Bei all den bisherigen Darstellungen war vorausgesetzt, daß die Schichten, deren Verhältnisse geschildert wurden, in regelmäßiger und normaler Weise Bank über Bank „konkordant" oder „gleichmäßig" übereinander abgelagert worden seien; vielfach kommen jedoch Abweichungen davon vor, welche weitere wichtige Verwickelungen mit sich bringen. Denken wir uns z. B. ein Schichtensystem aufgerichtet oder gefaltet und dabei dem Bereiche des Meeres entzogen, so wird eine Denudation stattfinden, wie wir sie in mehreren Fällen kennen gelernt haben. Es kann aber nun durch irgend eine Veränderung das Meer an der betreffenden Stelle Boden gewinnen und vorher trocken gewesenes Land überfluten; dies wird als ein „Übergreifen" oder eine

„Transgression" des Meeres und seiner Absätze bezeichnet. Ferner können sich neue horizontale Ablagerungen auf den Schichtköpfen älterer aufgerichteter Schichten bilden, und dann liegt eine „diskordante oder ungleichmäßige Überlagerung" vor (vgl. die Abbildung, S. 56, oben).

In anderen Fällen wird die Diskordanz nur die Form annehmen, daß sich die neugebildeten Schichten an ältere aufgerichtete Absätze horizontal anlagern; sie „stoßen dann gegen die älteren Schichten ab" (vgl. Abbildung, S. 55, links oben).

Eine von den Faltungen wesentlich verschiedene Art der Störungen haben wir in den Verwerfungen oder Brüchen (s. Abbildung, S. 55, links). Unter diesen versteht man Spalten, die ein Gesteinssystem senkrecht oder geneigt durchsetzen und an sich eine Verschiebung der zu beiden Seiten der Spalte vorhandenen Gesteine erlitten haben; in der Regel ist das Verhältnis derartig,



Gekreuzte Gänge bei St. Louis. (Nach Hayden.) Vgl. Text, S. 58.

daß an der Kluft die Partie auf der einen Seite abgesunken, „in die Tiefe geworfen" ist. Der Höhenunterschied, welcher zwischen dem verworfenen und dem unverrückt gebliebenen Teil der Ablagerung vorhanden ist, „die Sprunghöhe", beträgt oft nur wenige Zentimeter; sie kann aber auch ganz kolossale Dimensionen erreichen, die nach Tausenden von Metern zählen. Beim Absinken so gewaltiger Massen werden durch den ungeheuern Druck, der dabei stattfindet, im geschichteten Gestein die Bänke der in die Tiefe gleitenden Partie unmittelbar an der Spalte nach aufwärts, die der stehen bleibenden Partie nach abwärts gebogen, sie werden „geschleppt" (s. Abbildung, S. 55, links unten).

Eine wichtige Erscheinung, die mit dem Auftreten von Bruchlinien in Verbindung steht, bilden die Gänge, von Gestein oder Mineralien ausgefüllte Spalten im Gebirge, welche geschichtetes oder massiges Gebirge durchsetzen. Diese Vorkommnisse, unter denen die Erzgänge von höchster Bedeutung für den Bergbau sind, verdanken ihre Entwickelung sehr verschiedenen Ursachen; entweder wird in eine schon vorhandene Spalte eruptives feuerflüssiges Material von unten eingepreßt, oder Wasser, welches in den Klüften zirkuliert, erfüllt die Spalte mit auskristallisierenden Mineralien. In manchen Fällen besteht das Gangmaterial lediglich aus Geröllen, Gesteinstrümmern oder feinem Schlamm, die von oben her, „vom Tage", ihren Weg hierher gefunden haben; der Entstehung nach sehr

verschieden, sind aber diese Ausbildungsweisen durch die Art des äußeren Auftretens eng miteinander verbunden und werden unter gemeinsamer Bezeichnung zusammengefaßt. Wie in der Entstehung, so treten uns auch in den Dimensionen der Gänge außerordentliche Kontraste entgegen, denn während die einen dünne Bänke darstellen, zeigen andere ganz kolossale Mächtigkeit, so daß manche vulkanische Gesteinsgänge kleine Gebirgszüge selbständig zusammensetzen, wenn sie durch die zerstörende Wirkung der Gewässer von dem einschließenden Gesteinsmaterial befreit und bloßgelegt sind.

Wo geschichtetes Gestein durchbrochen und durchsetzt wird, schneiden die Gänge die Bänke desselben in der Regel unter wechselndem Winkel (s. Abbildung, S. 56, unten); bisweilen aber zwängt sich auch ein Gang wenigstens streckenweise zwischen zwei Schichten ein, er bildet einen „Lagergang". Oft treten mehrere Gänge gesellig auf, wie sich dies am allerhäufigsten da findet, wo Lava das lose Aufschüttungsmaterial vulkanischer Aschen und Tuffe durchsetzt. Besonders beachtenswert sind die Fälle, wenn zwei Gänge einander schneiden, wobei dann oft der eine durch den anderen auseinander gerissen und die beiden Trümmer des ersteren gegeneinander verrückt, „verworfen" sind; es ist dadurch mitunter möglich, das Altersverhältnis der verschiedenen Spalten zu bestimmen, indem „der Verwerfer" natürlich jünger sein muß als der Gang, den er zerrissen hat (vgl. die Abbildung, S. 57).

I. Physikalische Geologie.

1. Die Erde im Weltraume.

Inhalt: Der Fixsternhimmel. — Das Planetensystem. — Spektralanalyse. — Die Sonne. — Der Zustand der Gestirne. — Der Mond. — Vergangenheit und Zukunft der Erde. — Die Meteoriten. — Zusammensetzung der Meteoriten.

Der Fixsternhimmel.

Die Aufgaben der Geologie beziehen sich auf die Erde und ihre Entstehung, auf die Beschaffenheit, Bildung und Lagerung ihrer Massen und auf die Veränderungen, welchen diese unterliegen. Die Thatsachen jedoch, welche uns das Studium der Erde selbst an die Hand gibt, reichen für sich allein nicht überall aus, um diese Fragen zu lösen, so daß wir uns vielfach genötigt sehen, zu deren Beantwortung den Vergleich mit benachbarten oder entfernten Himmelskörpern und die Resultate einer anderen Wissenschaft, der Astronomie, zu Hilfe zu nehmen. Einen Begriff von der Entstehung der Erde bekommen wir nur durch die Kenntnis ihrer Stellung im Sonnensystem, und über die Zustände unseres Planeten in sehr weit entlegenen Zeitperioden belehrt uns am besten die Beschaffenheit solcher Gestirne, von denen gezeigt werden kann, daß sie sich jetzt in einem Entwickelungsstadium befinden, welches die Erde vor Äonen durchlaufen haben muß.

Unzählbar erscheint dem Auge die Menge der Sterne am nächtlichen Firmament. Man möchte glauben, daß es Hunderttausende von funkelnden Punkten seien, die uns erscheinen; dies ist jedoch eine Täuschung, und der Laie erstaunt in der Regel, wenn er erfährt, daß die Gesamtsumme der Sterne, welche für ein normales Auge am nördlichen Himmel sichtbar sind, nur etwa 3300, für ein außergewöhnlich scharfes und sehr geübtes Auge etwas über 5000 beträgt. Ganz kolossal allerdings ist die Steigerung, wenn man ein Teleskop zu Hilfe nimmt: die Zahl aller Fixsterne, welche mit den gewaltigsten Instrumenten eben noch sichtbar sind, konnte zwar bis jetzt nicht festgestellt werden, aber nach ungefähren Schätzungen beläuft sie sich jedenfalls auf Hunderte von Millionen, ja nach einer allerdings wohl übertriebenen Annahme auf 1200 Millionen. Stellenweise sind dieselben so dicht gedrängt, daß der Astronom W. Herschel in der Nähe der Milchstraße an einer Stelle im Verlaufe von 41 Minuten etwa eine Viertelmillion Sterne durch das Gesichtsfeld seines mächtigen Reflektors ziehen sah.

Jeder dieser Fixsterne ist eine selbständige, mit eigenem Licht leuchtende Sonne gleich der unseren und vielleicht, ja wahrscheinlich wie diese von Planeten umgeben. Die Entfernungen, welche diese einzelnen Körper voneinander trennen, sind von einer Größe, von der sich unser Geist

keinen Begriff mehr zu machen im ſtande iſt. Der Abſtand der Sonne von dem nächſten Fixſtern, von dem hell leuchtenden α im Sternbild des Centauren, wird annähernd auf acht Billionen Meilen geſchätzt, d. h. er iſt 400,000mal ſo groß als derjenige der Erde von der Sonne. Das Licht, welches mehr als 40,000 Meilen in der Sekunde zurücklegt, braucht über $6\frac{1}{2}$ Jahre, um von dort zu uns zu gelangen, während der ununterbrochene Lauf des ſchnellſten Rennpferdes erſt in mehr als 100 Millionen Jahren dieſe Diſtanz bewältigen würde. Die Entfernungen der übrigen Fixſterne ſind bedeutend weiter und bei der großen Mehrzahl ſo ungeheuer, daß eine Beſtimmung derſelben gar nicht mehr möglich iſt; man kann nur vermutungsweiſe annehmen, daß viele von ihnen Hunderte, ja ſelbſt Tauſende von Sternweiten (ſo bezeichnet man die Diſtanz von 8 Billionen Meilen) von der Sonne abſtehen, ſo daß ihr Licht Jahrtauſende braucht, um unſere Erde zu erreichen.

Wie rieſig aber auch die Abſtände der Fixſterne voneinander ſein mögen, die Reſultate der Aſtronomie ergeben doch, daß wir uns in einem Gebiet des Weltraums befinden, in welchem die einzelnen Himmelskörper verhältnismäßig noch dicht gedrängt ſind. Das ganze Firmament umzieht als ein größter Kreis, einem weiß leuchtenden Bande vergleichbar, die Milchſtraße. Dem freien Auge erſcheint ſie von ziemlich gleichmäßiger Helle, mit Hilfe ſtarker Teleſkope jedoch ſieht man, wie ſie ſich in ihren meiſten Teilen in ein Haufwerk zahlloſer dicht gedrängter, winzig kleiner Sternchen auflöſt; für den Reſt des Firmaments aber zeigt es ſich, daß ſich die weitaus größte Menge der Sterne überhaupt und faſt alle ſehr hell leuchtenden Körper in der Nähe der Milchſtraße befinden, während die von derſelben entfernten Partien des Himmelsgewölbes ſternarm ſind. Dieſe Erſcheinungen laſſen ſich ſehr einfach durch die Annahme erklären, daß unſer Planetenſyſtem einen der zahlloſen Beſtandteile eines flach linſenförmigen Sternhaufens bildet. Sehen wir gegen die weit entfernte ſcharfe Kante der Linſe, ſo erblicken wir ein undurchdringliches Gewühl von Sternen, die Milchſtraße, welche uns demnach angibt, in welcher Lage die Linſe ſich befindet, während die ſternarmen Räume fern von der Milchſtraße uns die flachen Decken der Linſe zeigen, in deren Richtung wir durch die dünnſte Schicht unſeres Sternhaufens hindurchſehen. Nach gewiſſen Anhaltspunkten hat man, allerdings in roheſter Annäherung, finden zu können geglaubt, daß die äußerſte Grenze der Linſe an der nächſten Stelle 79, an der entfernteſten 497 Siriusweiten von uns entfernt iſt (eine Siriusweite gleich 20 Billionen Meilen).

Es iſt bekannt, daß unſere Sonne nicht unveränderlich ihren Platz beibehält, ſondern in einer raſch fortſchreitenden Bewegung begriffen iſt, von der wir jedoch faſt nichts bemerken, weil die Erde ebenſo wie alle Planeten dieſe Bewegung mitmacht. Erſt die ſorgſamſte Beobachtung der kaum merklichen Ortsveränderung von Fixſternen ließ dieſe Thatſache erkennen und bewies, daß wir uns gegen das Sternbild des Herkules hin bewegen mit einer Geſchwindigkeit, welche zwiſchen $2\frac{3}{4}$ und 7 Meilen in der Sekunde geſchätzt wird. Wohl hat man in neuerer Zeit durch leichte Abweichungen gewiſſer farbiger Linien des Spektrums zu beſtimmen begonnen, mit welcher Geſchwindigkeit einige Fixſterne ſich uns nähern oder ſich von uns entfernen; aber ſelbſt im günſtigſten Falle erhalten wir dadurch nicht die Bewegung der Sonne, ſondern nur die Kombination ihrer Geſchwindigkeit mit derjenigen des beobachteten Sternes.[1]

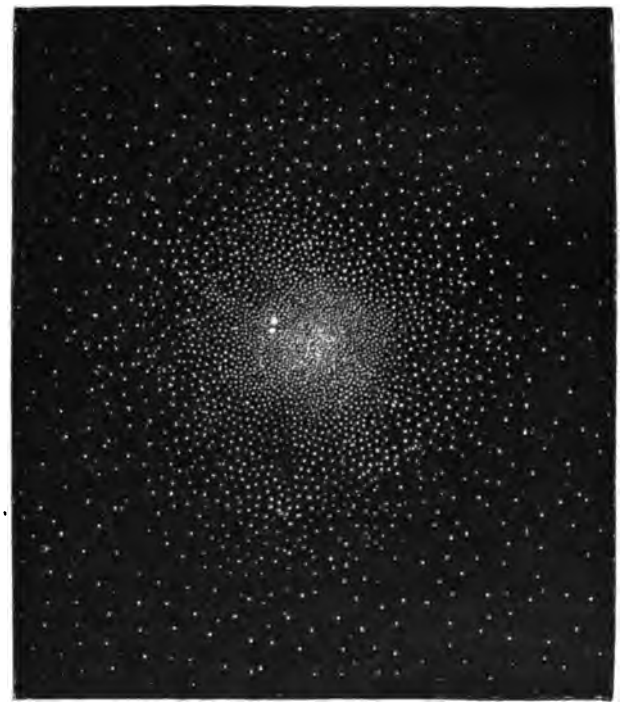
In derſelben Weiſe wie die Sonne haben auch die anderen Fixſterne eine Eigenbewegung. Mit Sicherheit dürfen wir annehmen, daß dieſelbe nach den nämlichen Geſetzen der Mechanik er-

---

[1] Man hat z. B. berechnet, daß wir uns den Sternen Vega im Sternbilde der Leier um 11,24 Meilen, dem Atair im Adler um 10,4 Meilen, dem Arkturos um 13,75 Meilen, dem Pollux um 12,25 Meilen in der Sekunde nähern, während wir uns von Kaſtor 7 Meilen, von Regulus im Löwen 3—4 Meilen, von Rigel im Orion 3,75 Meilen in der Sekunde entfernen. (Nach Huggins und Vogel.)

folgt, welche den Umlauf der Planeten um die Sonne regeln; ob aber die Sonne und die Fixsterne geradlinige Bewegungen haben, oder ob sie, zu einem oder mehreren Systemen vereinigt, Kurven um ihren gemeinsamen Schwerpunkt beschreiben, oder ob sie alle wieder um eine Zentralsonne kreisen, und ob wir diese in einem der Sterne der Plejaden im Sternbilde des Stieres zu suchen haben, wie vorgeschlagen worden ist, das sind Fragen, für deren Entscheidung wir noch kaum Anhaltspunkte besitzen.

Die Erde ist einer der kleineren Planeten der Sonne, welche selbst unter den vielen Millionen ihresgleichen nicht zu den bedeutenderen zu gehören scheint. Zu einem winzigen Stäubchen schwindet unsere Wohnstätte herab, auf der wir leben, auf der sich die Interessen der Menschheit zusammendrängen, die uns in einer die Sinne bewältigenden Großartigkeit erscheint. Und doch: dieser Sternhaufe selbst, in dem unser Planet ein verschwindendes Atom ist, er stellt uns kein Weltall vor, er ist wahrscheinlich selbst nur eins von zahllosen Systemen einer höheren Ordnung, die vielleicht wieder untereinander in einer Verbindung stehen wie die einzelnen Fixsterne um uns herum. Zwischen den flimmernden Punkten der Sterne erscheinen an zahlreichen Stellen des Firmaments helle Lichtwölkchen, teilweise dem freien Auge sichtbar, der großen Mehrzahl nach erst mit dem Fernrohr erkennbar, die sogenannten Nebelflecke. Von vielen derselben hat man mit Hilfe sehr starker Teleskope erkannt, daß sie sich in eine Unzahl winzig kleiner Sternchen auflösen, welche dicht gedrängt stehen (vgl. nebenstehende Abbildung), und es wird dadurch wahrscheinlich, daß, wie Kant zuerst annahm, wenigstens viele dieser Nebelflecke nichts anderes sind, als selbständige Sternsysteme derselben Natur und vielleicht derselben Größe wie die Milchstraße mit allen ihren Fixsternen und unserer Sonne. Hier bietet sich uns ein Ausblick von so unendlicher Großartigkeit, daß keine Vorstellung mehr genügt, um uns von diesen Dimensionen Rechenschaft zu geben.



Sternhaufe aus dem Sternbilde des Tukan. (Nach Peters.)

Das Planetensystem.

Wie eine Rückkehr zu kleinlichen Verhältnissen erscheint es fast, wenn wir uns wieder zu unserem Sonnensystem wenden, in welchem es sich doch nur um Distanzen von Millionen Meilen handelt. Im Zentrum des Systems steht die Sonne, an Durchmesser und Masse nicht

nur jedem einzelnen der Planeten, sondern sogar ihnen allen zusammen weitaus überlegen. Nach den Gesetzen der Schwere, wonach alle Körper im Verhältnis ihrer Masse, ihres Gewichts sich anziehen, zwingt die Sonne durch ihre gewaltige Überlegenheit alle Planeten, sie in ihren Bahnen zu umkreisen. Der Durchmesser der Sonne beträgt 187,000 deutsche Meilen, er ist also so groß, daß die Erde und der sie umkreisende Mond bequem in der ausgehöhlten Kugel Platz hätten, ja daß der Durchmesser der Mondbahn nicht viel mehr als die Hälfte des Sonnendurchmessers beträgt; die Masse der Sonne ist 323,000 mal größer als diejenige der Erde.

Es würde uns zu weit ablenken, wenn wir hier auseinandersetzen wollten, in welcher Weise alle Bewegungen der Planeten eine einfache Folge des Gesetzes der Schwere sind, und wie diese Einsicht sich aus den Forschungen des großen Newton ergeben hat; wir können uns hier nur empirisch mit den Erscheinungen selbst befassen. Die Bewegung der Planeten um die Sonne findet, außer bei einigen kleinen Asteroiden, in wenig exzentrischen und gegen den Sonnenäquator wenig geneigten Ellipsen statt, nicht in Kreisen, wie bis auf Kepler angenommen wurde, und wie man selbst heute noch bisweilen hört; alle diese Ellipsen haben den einen ihrer beiden Brennpunkte, welcher im Mittelpunkte der Sonne liegt, miteinander gemein.

Wenn wir von dem noch sehr fraglichen intramerkuriellen, d. h. zwischen Sonne und Merkur befindlichen Planeten absehen, so steht Merkur der Sonne am nächsten; seine mittlere Entfernung von dieser beträgt 0,387 des Erdbahnhalbmessers, seine Umlaufszeit nahezu 88 Tage, sein Durchmesser 648 Meilen, seine Masse $^1/_{14}$ der Erdmasse. Dann folgen:

Venus, mit einer mittleren Entfernung von der Sonne, welche 0,723 des Halbmessers der Erdbahn beträgt; Umlaufszeit etwa 224 Tage, Durchmesser 1616 Meilen, Masse = 0,8 der Erdmasse.

Die Erde, mit einer mittleren Entfernung von der Sonne von ungefähr 20 Millionen Meilen, mit der Umlaufszeit von einem Jahre, einem Durchmesser von 1719 Meilen und einer Masse = $^1/_{323,000}$ derjenigen der Sonne; sie ist von einem Trabanten, dem Monde, begleitet.

Mars, mit einer mittleren Entfernung von der Sonne, welche 1,524mal größer ist als die der Erde, mit einer Umlaufszeit von etwa 687 Tagen, einem Durchmesser von 909 Meilen und einer Masse, die nur ungefähr 0,1 von derjenigen der Erde zu betragen scheint; Mars ist von zwei sehr kleinen Trabanten begleitet, welche ihn in sehr engen Bahnen umkreisen.

Während die Abstände der bis jetzt genannten Gestirne von der Sonne nach einem sehr einfachen Verhältnis regelmäßig größer werden, finden wir zwischen Mars und dem nächsten der seit alter Zeit bekannten Planeten, Jupiter, eine große Lücke; der Zwischenraum zwischen beiden erscheint ungefähr so groß, als ob ein Glied des Systems hier fehlte. Längst war daher die Ansicht ausgesprochen worden, daß an dieser Stelle ein noch unentdeckter Planet existiere, und in der That wurde ein solcher am 1. Januar 1801 daselbst durch Piazzi gefunden, mit dem Namen Ceres belegt und durch Gauß berechnet. Er erwies sich als ein außerordentlich kleiner Körper von nur 50 Meilen Durchmesser und einer großen Achse der Bahn, welche 2,768 der entsprechenden Achse der Erdbahn beträgt; die Umlaufszeit ist 1682 Tage. Bald aber überzeugte man sich, daß Ceres hier nicht allein stehe, es wurden Pallas, Vesta, Juno in derselben Region zwischen Mars und Jupiter gefunden, und seitdem der Himmel systematisch danach erforscht wird, namentlich aber seit der Anwendung photographischer Aufnahmen des Himmels, zeigen sich die Bemühungen von solchem Erfolge gekrönt, daß alljährlich eine größere Anzahl dieser kleinsten Gestirne, der sogenannten Asteroiden, entdeckt wird. Ende 1891 waren 324 Asteroiden bekannt. Ihre Durchmesser schwanken zwischen 375 und 25 km; Leverriers Versuch, ihre Gesamtmasse zu schätzen, führte zu dem Ergebnis, daß sie alle zusammen ungefähr dem vierten Teil des Gewichts der Erde entsprechen könnten. Die kürzeste Umlaufszeit eines Asteroiden um die Sonne

beträgt 1137, die längste 2867 Tage. Die Exzentrizität ihrer Bahnen ist im allgemeinen größer als bei den übrigen Planeten.

Jenseit der Zone der Asteroiden folgen die großen Planeten, zunächst Jupiter, der Riese unter ihnen. Seine mittlere Entfernung von der Sonne ist 5,5mal, sein Durchmesser 11mal, seine Masse 334mal größer als die der Erde; seine Umlaufszeit beträgt 4332 Tage oder 11 Jahre und 314 Tage; er ist von fünf Trabanten umgeben.

Saturn, mit einer mittleren Entfernung von der Sonne, welche mehr als 9mal so groß ist als die der Erde, vollendet seinen Umlauf in etwa 10,760 Tagen; sein Durchmesser ist 16,675 Meilen, seine Masse etwa 92mal so groß als die der Erde, seine Dichtigkeit beträgt nur $^1/_7$ der Dichtigkeit der Erde. Saturn hat 8 Trabanten, von denen der größte mit dem Planeten Mars wetteifern kann; besonders aber ist er durch den bekannten dreifachen Ring ausgezeichnet, welcher frei um den Äquator des Saturn schwebt.

Uranus, mit einem Äquatorial-Durchmesser von 6740 Meilen und einer Masse, welche 14mal so groß ist als die der Erde, vollendet seinen Umlauf um die Sonne in etwa 30,686 Tagen. Seine mittlere Entfernung von der Sonne beträgt 384 Millionen Meilen, ist also ungefähr 19mal so groß als die der Erde; er wird von vier Trabanten umgeben.

Neptun, nach unseren Kenntnissen der äußerste Planet des Sonnensystems, ist seit 1846 bekannt. Seine Existenz wurde aus den Störungen gefolgert, welche die Bahn des Uranus erleidet, und von Leverrier berechnet; in der That ist Neptun auch an dem von diesem Gelehrten angegebenen Punkt am Firmament gefunden worden. Seine mittlere Entfernung von der Sonne ist etwa 30mal so groß als die der Erde (ungefähr 600 Millionen Meilen), die Umlaufszeit beträgt ungefähr 164,5 Jahre; sein Durchmesser ist $4^1/_3$mal, seine Masse 16mal größer als die der Erde; er hat einen Trabanten.

Eine große Anzahl von Planeten, welche sämtlich durch eine Reihe äußerst wichtiger gemeinsamer Eigenschaften miteinander verknüpft sind, umkreist also mit ihren Satelliten die Sonne. Sie alle bewegen sich um ihre Achse wie auf ihrer Bahn um die Sonne von Westen nach Osten, in derselben Richtung, in welcher sich auch die Sonne um ihre Achse dreht; sämtlich beschreiben sie in ihrem Umlauf um den Zentralkörper Ellipsen, welche sehr wenig exzentrisch sind, also von einem Kreise nicht bedeutend abweichen, und endlich sind ihre Bahnen nur wenig gegeneinander und gegen den Äquator der Sonne geneigt. Diese auffallenden Thatsachen machen die Annahme einer gemeinsamen Ursache der genannten Erscheinungen und eines gemeinsamen Ursprunges aller Körper des Planetensystems in hohem Grade wahrscheinlich. Einer der gewaltigsten Geister aller Zeiten, Kant, hat darauf seine berühmte Theorie der Entstehung des Planetensystems gegründet, die jetzt von der großen Mehrzahl aller Forscher als richtig angenommen wird. Nach ihm bildete unser Sonnensystem ursprünglich eine einheitliche, rotierende Gasmasse, von der sich endlich infolge ihrer Zusammenziehung und Abkühlung einzelne Teile an den Rändern loslösten und sich zu den Planeten und ihren Trabanten entwickelten, während als Hauptmasse im Zentrum die Sonne zurückblieb.

Die Anschauungen Kants hatten sich anfangs keiner allgemeinen Anerkennung zu erfreuen; sie erfolgte erst, als Laplace 40 Jahre später, und offenbar ohne von den Ideen seines Vorgängers Kenntnis zu haben, dieselbe Theorie mit sehr ähnlicher Begründung entwickelte.

Seitdem haben sich die astronomischen Entdeckungen außerordentlich gemehrt; Uranus und Neptun und das Heer der Asteroiden sind gefunden worden, welche alle dieselbe Bewegung von Westen nach Osten besitzen, und damit ist die Wahrscheinlichkeit der Kant-Laplaceschen Theorie bedeutend gestiegen. Wir nehmen also jetzt an, daß die Sonne und alle ihre Planeten ursprünglich eine einzige Masse bildeten, welche infolge ihrer außerordentlich großen Hitze dampfförmig

war, sich bis über die Bahn des Neptun hinaus erstreckte und sich später auf das jetzige Volumen des Sonnenkörpers zusammenzog. Bei diesem Prozeß kühlten sich die äußeren Schichten des rotierenden Dunstballes rascher ab, zogen sich infolgedessen stärker zusammen und trennten sich dadurch von dem Hauptkörper zunächst als Ringe, die dann zerrissen und zu Planeten wurden.

Ist es gestattet, diese Anschauungsweise noch weiter auszudehnen und zu denken, daß dieselbe Art der Entstehung, wie für unser Planetensystem, auch für den ganzen Sternhaufen der Milchstraße anzunehmen sei? Ist auch dieser durch die Auflösung einer ungeheuern ursprünglichen Nebelmasse entstanden? Der Analogieschluß, daß dem so gewesen sei, liegt nahe, allein unsere Kenntnis der thatsächlichen Verhältnisse, der Bewegungen der Fixsterne ist so gering, daß eine Entscheidung schwer fällt; doch finden wir in der Spektralanalyse ein Mittel, das einige Aufschlüsse über diese Frage gibt.

Da die Kantsche Theorie die Entstehung unseres Sonnensystems, die Bildung des Zentralkörpers und seiner Planeten, auf die Zerteilung einer einzigen ursprünglichen Nebelmasse zurückführt, so müssen nach dieser Auffassung die Sonne und die Planeten aus denselben Stoffen bestehen; wir kennen zunächst die chemischen Elemente, welche auf der Erde vorkommen, und müssen demnach annehmen, daß dieselben auch auf der Sonne und den sie umkreisenden Gestirnen wiederkehren. Gelingt der Nachweis, daß dem thatsächlich so ist, so wird dies eine glänzende Bestätigung der Kantschen Hypothese darstellen, und wenn man weiter zeigen kann, daß unsere irdischen Grundstoffe auch auf fernen Fixsternen vorhanden sind, so muß diese Beobachtung der Annahme große Wahrscheinlichkeit verleihen, daß die Fixsterne zu einander und zur Sonne in einem ähnlichen Verhältnis stehen wie die einzelnen Teile unseres Planetensystems unter sich, d. h. daß auch sie alle der Zerteilung einer ungeheuern kosmischen Nebelmasse ihre individuelle Existenz verdanken.

Spektralanalyse.

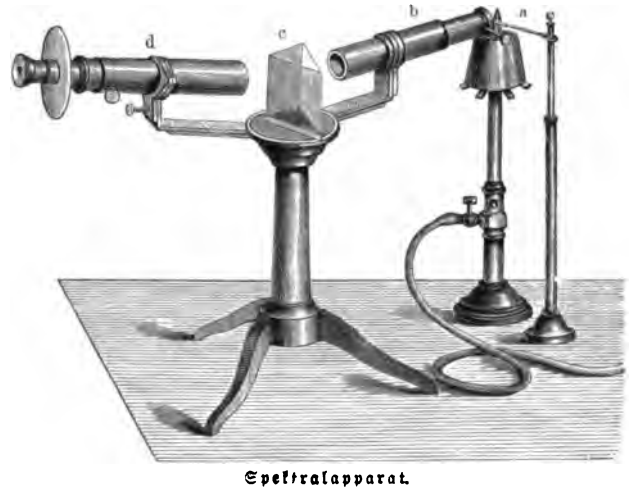
Noch vor einigen Dezennien wäre es für eitle Träumerei gehalten worden, wenn jemand von der Möglichkeit gesprochen hätte, die Materie der Sonne oder gar der unendlich weit entfernten Fixsterne einer chemischen Analyse zu unterziehen. Es gehört zu den schönsten Errungenschaften des menschlichen Geistes, die Schranken, welche die Entfernung von Millionen Meilen einer solchen Untersuchung scheinbar unüberwindlich entgegensetzte, durchbrochen zu haben, und die Auffindung der Methode, welche dies ermöglichte, der Spektralanalyse, bildet ein unvergängliches Verdienst ihrer Entdecker, der beiden Heidelberger Forscher Bunsen und Kirchhoff.

Wir vermögen natürlich kein Material von den Gestirnen zu holen, um es mit chemischen Reagenzien einer unmittelbaren Prüfung zu unterziehen; nur das Licht, welches sie uns zusenden, können wir untersuchen und aus seiner Beschaffenheit auf die Körper schließen, von denen es ausströmt, oder die es durchdrungen hat. Über diese geben uns aber die Strahlen, welche zu uns kommen, ebenso sicheren Aufschluß wie die Reaktionen, die man im Laboratorium durch Auflösung und Fällung oder mit dem Lötrohr erzielt.

Unter „Brechung des Lichtes" versteht man die Ablenkung von seiner geraden Richtung, welche dasselbe erleidet, wenn es auf seinem Wege von einem durchsichtigen Medium in ein anderes davon verschiedenes eintritt. Dringt z. B. ein Lichtstrahl aus der Luft in Glas oder Wasser, so weicht er von seiner ursprünglichen Direktion ab, wie es die jedermann bekannte Thatsache lehrt, daß ein Stock, den man ins Wasser steckt, an der Stelle geknickt erscheint, an welcher er in dasselbe eintaucht. Newton hat zuerst gezeigt, daß „Lichtstrahlen von verschiedener Farbe

auch von verschiedener Brechbarkeit sind". Betrachtet man z. B. durch ein dreiseitiges gläsernes Prisma Lichtstrahlen von verschiedener Farbe, so sieht man, daß die Beträge, um welche dieselben dabei abgelenkt, um die sie gebrochen werden, sehr bedeutend abweichen. Rotes Licht wird stets am wenigsten gebrochen, Orange etwas mehr, Gelb, Grün, Blau der Reihe nach immer stärker, bis wir bei Violett die energischste Ablenkung bemerken. Bekanntermaßen besteht das reine weiße Licht aus zahlreichen verschiedenfarbigen Strahlen, welche nach dem Durchgange durch ein dreiseitiges Prisma von farblosem Glase nebeneinander erscheinen. Läßt man dieselben auf eine weiße Fläche fallen, so erscheint ein breiter bunter Streifen in den bekannten Regenbogenfarben: Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo und Violett, in welche demnach das weiße Licht zerlegt ist; man nennt dies das „Spektrum" desselben.

Die Zerlegung durch ein dreiseitiges Prisma gibt nun die Möglichkeit, jede Lichtart genau auf ihre Zusammmensetzung zu prüfen; man benutzt zu derartigen Untersuchungen ein Instrument, den Spektralapparat oder das Spektroskop, dessen Einrichtung die Erscheinung in möglichster Reinheit zur Darstellung bringt. In seiner einfachsten Form ist dasselbe so eingerichtet, daß das Licht durch einen feinen Spalt in ein Rohr eintritt und aus diesem durch eine Sammellinse auf eine Fläche des im Zentrum des Apparats befindlichen Prismas geworfen wird; auf der anderen Seite des Prismas ist ein Fernrohr so angebracht, daß durch dasselbe das austretende gebrochene Licht, das Spektrum, unmittelbar beobachtet werden kann (s. nebenstehende Abbildung). Diese wenig komplizierte Einrichtung wird nun in sehr verschiedener und verwickelter Weise modifiziert; man wendet statt des einen mehrere hintereinander liegende Prismen an, um dadurch eine sehr starke Brechung hervorzurufen; man hat ferner Vorkehrungen getroffen, um zwei verschiedene Lichtarten gleichzeitig beobachten und miteinander vergleichen zu können ꝛc.



Spektralapparat.
a) Bunsenscher Gasbrenner; b) Rohr mit Sammellinse; c) Prisma; d) Fernrohr

Betrachtet man das Licht, das die verschiedensten festen und flüssigen Körper im Zustande der Weißglut ausstrahlen, durch den Spektralapparat, so findet man, daß dasselbe in allen Fällen ganz gleich ist und ein vollständiges und ununterbrochenes (kontinuierliches) Spektrum durch alle Farben liefert. Den vollständigsten Gegensatz sehen wir bei der Untersuchung glühender Gase: wir finden hier nur einzelne helle Streifen und Bänder, die durch dunkle Flächen voneinander getrennt sind; statt der Gleichartigkeit herrscht die größte Mannigfaltigkeit, indem *jedes Gas sein eigenes, sich gleichbleibendes, aber von dem aller übrigen total verschiedenes Spektrum zeigt*. Wir besitzen demnach hier ein Mittel, die chemische Natur von Gasen und Dämpfen einfach aus der Betrachtung ihres Lichtes durch das Prisma zu erkennen, und haben damit das Grundprinzip der Spektralanalyse.

Körper, von denen man sehr leicht glühende Dämpfe erhält, und von denen *Bunsen* und *Kirchhoff* bei ihren klassischen Untersuchungen vielfach ausgingen, sind die sogenannten Metalle der Alkalien und alkalischen Erden, wie *Kalium*, *Natrium*, *Lithium*, *Calcium*, *Strontium*,

Baryum. Man bringt einfach eine Spur von Salzen dieser Metalle an die Spitze eines sehr feinen Platindrahtes und setzt diese der nicht leuchtenden Flamme eines „Bunsenschen Gasbrenners" aus, welcher dicht vor dem feinen Spalt eines Spektroskops steht; sofort färbt sich die Flamme, und man sieht die charakteristischen Streifen der betreffenden Metalldämpfe durch das Fernrohr des Apparats.

Benutzt man zu diesem Experiment eine Natriumverbindung, z. B. das gewöhnliche Kochsalz (Chlornatrium), so erscheint in schwächeren Instrumenten eine leuchtende gelbe Linie, die von stärkeren in eine Doppellinie zerlegt wird. Diese Reaktion ist von unvergleichlicher Feinheit, indem durch dieselbe noch der dreimillionste Teil eines Milligramms Natrium nachgewiesen werden kann, eine Schärfe, mit welcher sich keine andere chemische Methode zu messen im stande ist; es genügt, neben dem Bunsenschen Brenner des Spektralapparats in die Hände zu klatschen, um die gelbe Natriumlinie hervorzurufen, da der Schweiß der Handfläche Kochsalz enthält, von welchem durch den Schlag eine Spur verstäubt wird und in die Flamme gelangt. Lithium, ein in der Natur sehr verbreiteter, aber meist in äußerst geringen Mengen vorkommender Körper, zeigt eine schwache gelbe und eine sehr hell leuchtende rote Linie; auch hier ist die Reaktion ungemein scharf und gestattet den Nachweis von sehr geringen Spuren. Manche Mineralwässer, welche zur Kur getrunken werden, enthalten Lithiumsalze, und es genügt, den Schweiß während des Spazierganges nach dem Genusse des Wassers mit einem Stückchen Fließpapier abzuwischen, um an der Asche desselben die rote Lithiumlinie zu erkennen. Die außerordentliche Präzision des beschriebenen Verfahrens hat sogar den Chemikern gestattet, damit einige Elemente zu entdecken, die wegen der geringen Menge, in welcher sie vorzukommen pflegen, der Aufmerksamkeit bis dahin entgangen waren; so fand Bunsen sehr schnell zwei dem Kalium verwandte Metalle, die er als Cäsium und Rubidium bezeichnete; später folgten das Thallium, Indium, Gallium und einige andere, welche alle auf diesem Wege zu unserer Kenntnis gelangt sind.

Wir haben bis jetzt zwei verschiedene Arten von Spektren kennen gelernt, das kontinuierliche, wie es feste oder flüssige Körper in der Weißglut erzeugen, und das aus einzelnen leuchtenden Streifen bestehende, welches die glühenden Gase abgeben. Eine dritte Art tritt uns entgegen, wenn wir das Licht der Sonne durch ein Prisma betrachten. Dem freien Auge gibt sich dabei allerdings kein Unterschied gegen ein kontinuierliches Spektrum zu erkennen, allein bereits mit einem schwachen Fernrohr entdeckt man in dem Sonnenspektrum einzelne schwarze Linien, und beim Gebrauch sehr starker Instrumente zeigt sich, daß es von einer ungeheuern Menge solcher durchzogen ist. Nachdem schon Wollaston diese Erscheinung bemerkt hatte, wurde sie zu Anfang unseres Jahrhunderts einer genauen Untersuchung durch Fraunhofer in München unterzogen, welcher die auffallendsten unter jenen Linien mit den Buchstaben des lateinischen Alphabets von A bis H benannte und zwischen diese eine bedeutende Anzahl anderer einzeichnete. Er zeigte weiter, daß auch im Spektrum des Mondes und der Venus dieselben Linien wie in dem der Sonne auftreten, das Licht der Fixsterne dagegen zwar ebenfalls dunkle Linien aufweist, die aber nicht alle mit denen der Sonne übereinstimmen.

Fraunhofer hatte auch schon beobachtet, daß die dunkle Linie des Sonnenspektrums, welche er mit D bezeichnet hatte, genau dieselbe Lage hat wie die gelbe Linie der glühenden Natriumdämpfe; allein diese wichtige Bemerkung wurde wenig beachtet, bis sie mehr als 40 Jahre später den Ausgangspunkt für die denkwürdigen Untersuchungen von Kirchhoff bildete. Nachdem dieser sich von der wirklich vollkommenen Übereinstimmung der Fraunhoferschen D-Linie mit der Natriumlinie vergewissert hatte, versuchte er eine Erklärung. Es ist bekannt, daß eine schwach leuchtende Flamme selbst einen Schatten wirft, wenn sie vor einer sehr intensiven Lichtquelle steht; stellt man z. B. eine brennende Kerze vor ein elektrisches Licht, so erzeugt die Flamme der

Kerze ebenso gut einen Schatten wie die Kerze selbst. Kirchhoff stellte nun unmittelbar vor den Spalt eines Spektralapparats eine schwach leuchtende Natriumflamme und hinter diese ein sehr intensives weißes Licht, so daß dessen Strahlen die Natriumflamme passieren mußten, um zum Prisma zu gelangen; in der That trat ein, was der Gelehrte vorausgesetzt hatte: es erschien ein vollständig kontinuierliches Spektrum, in welchem sich nur im gelben Teil eine schwarze Doppellinie genau an der Stelle zeigte, wo die helle Natriumlinie oder die D-Linie des Sonnenspektrums zu stehen käme. Weiter schob Kirchhoff statt der Natriumflamme eine schwache Lithiumflamme zwischen den Spalt des Spektroskops und das intensive weiße Licht; sofort traten die Lithiumlinien schwarz hervor, und dasselbe war der Fall bei allen Körpern, die in dieser Weise untersucht wurden. Es ist eine „Umstürzung" des Spektrums, indem diejenigen Linien, welche eine schwache Flamme leuchtend zeigt, sofort schwarz erscheinen, wenn man hinter derselben intensives weißes Licht aufstellt; sie absorbiert nun aus diesem diejenigen Lichtarten, welche sie sonst ausstrahlt. Daraus konnte gefolgert werden, daß jedes Gas seine hellen Linien in dunkle verwandelt, wenn durch dasselbe Strahlen einer Lichtquelle gehen, die hinreichend hell ist und für sich ein kontinuierliches Licht erzeugt.

Wenden wir diese Erfahrungen auf die Sonne an, so ergibt sich offenbar, daß deren Körper weißglühend ist und ein kontinuierliches Spektrum gibt, daß aber die Strahlen desselben, ehe sie die Erde erreichen, durch Gase hindurchgehen, welche die für sie charakteristischen Lichtarten absorbieren oder auslöschen und so die Fraunhoferschen Linien erzeugen. Diese Absorption kann nun an zweierlei Stellen vor sich gehen, nämlich während die Strahlen des Sonnenkörpers die Sonnenatmosphäre und während sie die Erdatmosphäre passieren. Einerseits sehen wir, daß gewisse Gruppen von Linien des Abends, also wenn das Sonnenlicht eine dickere Schicht der Erdatmosphäre durchdringen muß, um zu uns zu gelangen, weit stärker hervortreten als am Mittag, und diese entstehen offenbar durch Absorption während des Durchtritts durch die Luft, es sind irdische Linien. Andere dagegen werden von der Tageszeit nicht beeinflußt: sie müssen ohne Zweifel der Sonnenatmosphäre zugeschrieben werden.

Auf diese Weise konnte das Vorhandensein einer Anzahl bekannter Grundstoffe in der Sonnenatmosphäre rasch und leicht nachgewiesen werden, z. B. Natrium, Magnesium, Calcium, Eisen, Wasserstoff und mehrere andere; aber eine erschöpfende Behandlung setzt unendlich mühevolle und schwierige Studien voraus, vor allem ist eine überaus sorgsame Verzeichnung der Fraunhoferschen Linien notwendig. Kirchhoff und Angström haben diese Arbeit mit großer Präzision gemacht, und sie konnten mit ihren Apparaten eine sehr große Anzahl von Linien bestimmen; aber gleichzeitig sah man, daß stärkere Instrumente eine weit größere Menge derselben zeigen würden, die zu erforschen der englische Physiker Lockyer unter Anwendung verbesserter Instrumente unternommen hat. Gegenwärtig stellt man besonders die Photographie in den Dienst der Spektroskopie und verdankt dieser Erweiterung der Methode große Erfolge.

Wir kennen jetzt mehr als die Hälfte der irdischen Elemente als Bestandteile der Sonne[1].

[1] Der gegenwärtige Stand unseres Wissens über das Vorkommen der irdischen Elemente auf der Sonne ist nach H. A. Rowland folgender:

Sicher nachgewiesene Sonnenelemente: Eisen (über 2000 Linien), Nickel, Titan, Mangan, Chrom, Kobalt, Kohlenstoff (200 Linien), Vanadium, Zirkonium, Cer, Calcium (75), Scandium, Neodymium, Lanthan, Yttrium, Niobium, Molybdän, Palladium, Magnesium (20), Natrium (11), Silicium, Strontium, Barium, Aluminium (4), Kadmium, Rhodium, Erbium, Zink, Kupfer (2), Silber (2), Beryllium (2), Germanium, Zinn, Blei, Kalium, Wasserstoff.

Zweifelhafte Sonnenelemente: Iridium, Osmium, Platin, Ruthenium, Tantal, Thorium, Wolfram, Uran.

Im Sonnenspektrum sind nicht vertreten: Antimon, Arsen, Wismut, Bor, Stickstoff, Cäsium, Gold, Indium, Quecksilber, Phosphor, Rubidium, Selen, Schwefel, Thallium, Praseodymium.

Auffallend ist das geringe Vorkommen der nichtmetallischen Körper, von denen nur Wasserstoff, Kohlenstoff und Silicium mit Sicherheit bekannt sind. Ob die übrigen vorhanden und nur schwer zu beobachten sind oder in Wirklichkeit fehlen, ist eine Frage, deren Lösung der Zukunft überlassen ist. Die Metalle, und zwar besonders diejenigen mit niedrigen Atomgewichten, sind ziemlich vollständig vertreten.

Anderseits gibt es eine beträchtliche Menge von Fraunhoferschen Linien, unter ihnen gerade einige der stärksten, welche in den Spektren irdischer Körper bisher nicht gefunden worden sind. Es geht daraus hervor, daß auf der Sonne Stoffe in großer Verbreitung vorkommen, die wir auf der Erde noch nicht kennen (vgl. die beigeheftete Tafel „Spektralanalyse").

Die Planeten haben kein oder nur sehr schwaches eigenes Licht: sie werfen uns das der Sonne zurück. Wenn wir demnach einen Planeten durch das Prisma beobachten, so erhalten wir das Sonnenspektrum, jedoch mit der Änderung, daß durch die Atmosphäre des Planeten einige Strahlen absorbiert werden und die Zahl der dunkeln Linien sich etwas erhöht. Für Venus und Mars ist auf diese Weise eine Atmosphäre nachgewiesen, welche der Hauptsache nach dieselbe ist wie die der Erde; auch Jupiter zeigt eine solche, worin namentlich Wasserdampf eine sehr große Rolle spielt, daneben finden sich aber hier noch Linien, die vorläufig nicht sicher gedeutet und bis jetzt nicht auf irdische Stoffe bezogen werden können, und ähnlichen Verhältnissen begegnen wir bei Saturn. Unser Mond dagegen, der keine oder nur Spuren einer Atmosphäre besitzt, verändert das Sonnenspektrum gar nicht.

War die Ausbeute der spektroskopischen Untersuchungen bei den Planeten wegen des Mangels an kräftigem eigenem Licht keine sehr ergiebige, so ist das Resultat um so bedeutender, wenn wir uns den Fixsternen zuwenden. Nach Secchi und H. C. Vogel lassen sich unter den Fixsternen nach ihrem Spektrum drei Haupttypen unterscheiden. Den ersten und häufigsten bilden die weißen oder licht bläulichen Sterne, zu welchen etwa die Hälfte aller Fixsterne gehört; Sirius, Wega in der Leier, Atair im Adler, Regulus im Löwen, Rigel im Orion, die leuchtenden Sterne des Großen Bären (mit Ausnahme von α) sind Beispiele dieser Gruppe. Der Glühzustand dieser Sterne ist ein so beträchtlicher, daß die in ihren Atmosphären enthaltenen Metalldämpfe nur eine überaus geringe Absorption ausüben können, so daß entweder keine oder nur äußerst zarte Linien im Spektrum zu erkennen sind.

Die zweite Gruppe, die sogenannten gelben Sterne Secchis umfassend, zeigt Übereinstimmung mit unserer Sonne. Beispiele sind Capella im Fuhrmann, Pollux in den Zwillingen, Aldebaran im Stier, α des Großen Bären, Procyon im Kleinen Hund. Dichtgedrängte Fraunhofersche Linien im Spektrum beweisen, daß bei diesen Sternen eine abgekühlte, an metallischen Dämpfen reiche Atmosphäre, ähnlich wie bei unserer Sonne, vorhanden ist. Die einzelnen Stoffe, welche in den gelben Sternen spektroskopisch erkannt sind, stimmen in der Hauptsache mit den Elementen der Sonne überein. Auch der Typus der gelben Sterne ist reichlich am Himmel vertreten; ihre Zahl beträgt etwa ein Drittel der Gesamtheit.

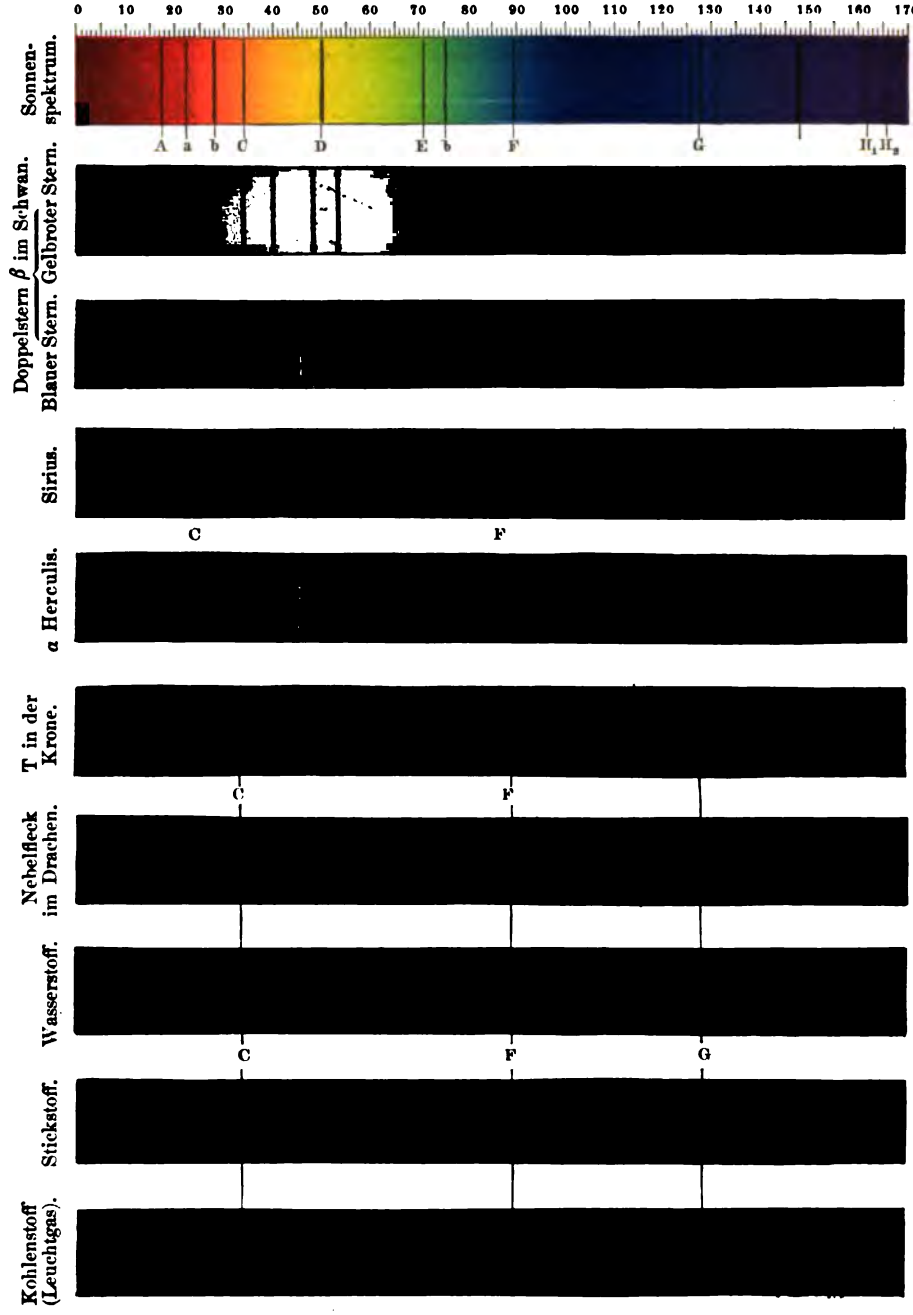
Weit spärlicher sind die Gestirne des dritten Typus, die sogenannten roten Sterne. Ihr Spektrum ist in hervorragender Weise durch breite Absorptionsbänder gekennzeichnet, wie sie niemals in den Spektren von einfachen Stoffen, wohl aber in solchen von chemischen Verbindungen vorkommen. Je nach der Lage und Anordnung dieser dunkeln Streifen im roten oder blauen Teile des Spektrums unterscheidet man nach Secchi zwei Untergruppen und bezieht diese

Noch nicht untersucht sind die Elemente: Brom, Chlor, Jod, Fluor, Sauerstoff, Tellur, Gallium, Holmium, Thulium, Terbium ꝛc.

Die zu einzelnen Elementen in Klammern beigefügten Zahlen beziehen sich auf die Spektrallinien, deren Koinzidenz mit Sicherheit nachgewiesen ist.

Spektren der Fixsterne und Nebelflecke,

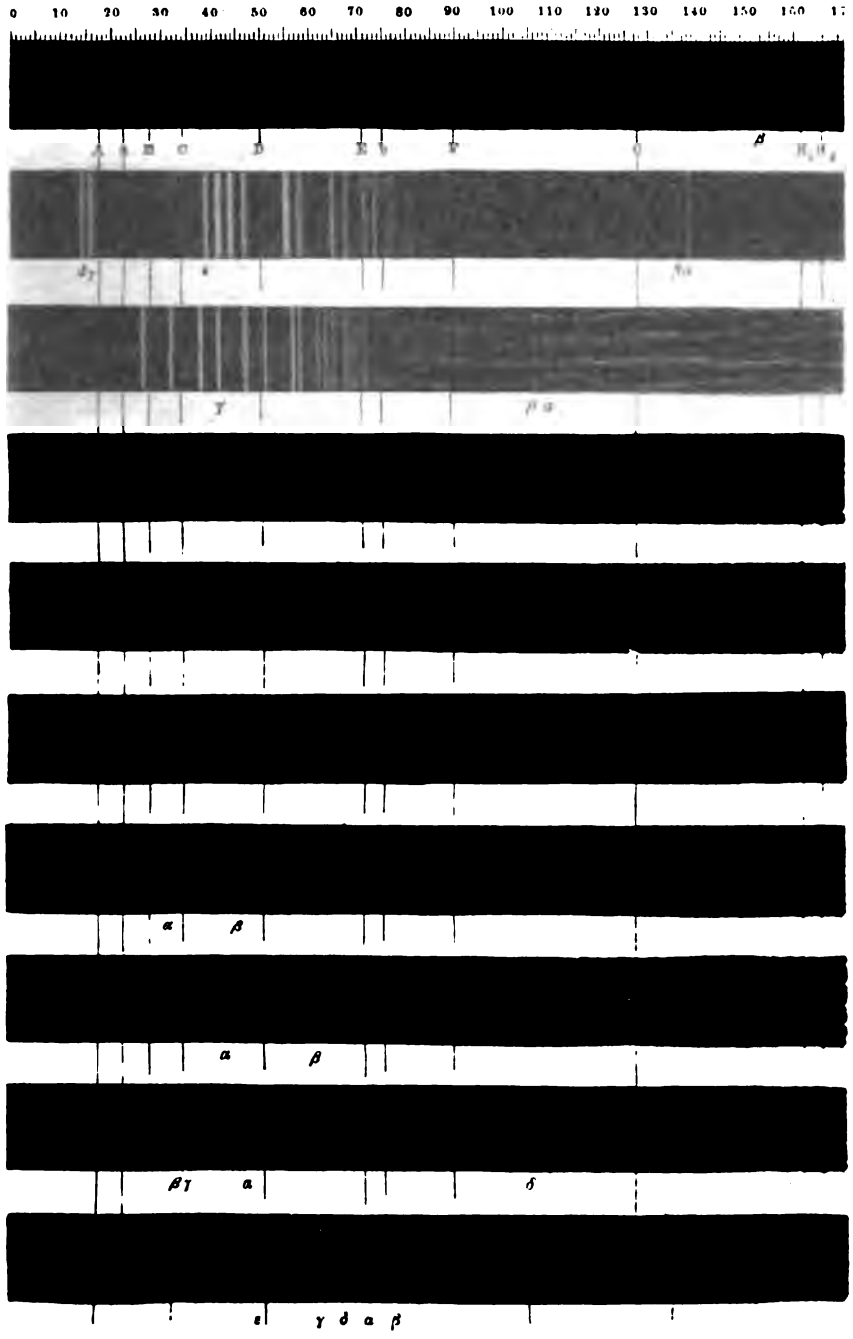
verglichen mit dem Sonnenspektrum und den Spektren einiger Nichtmetalle.



nalyse.

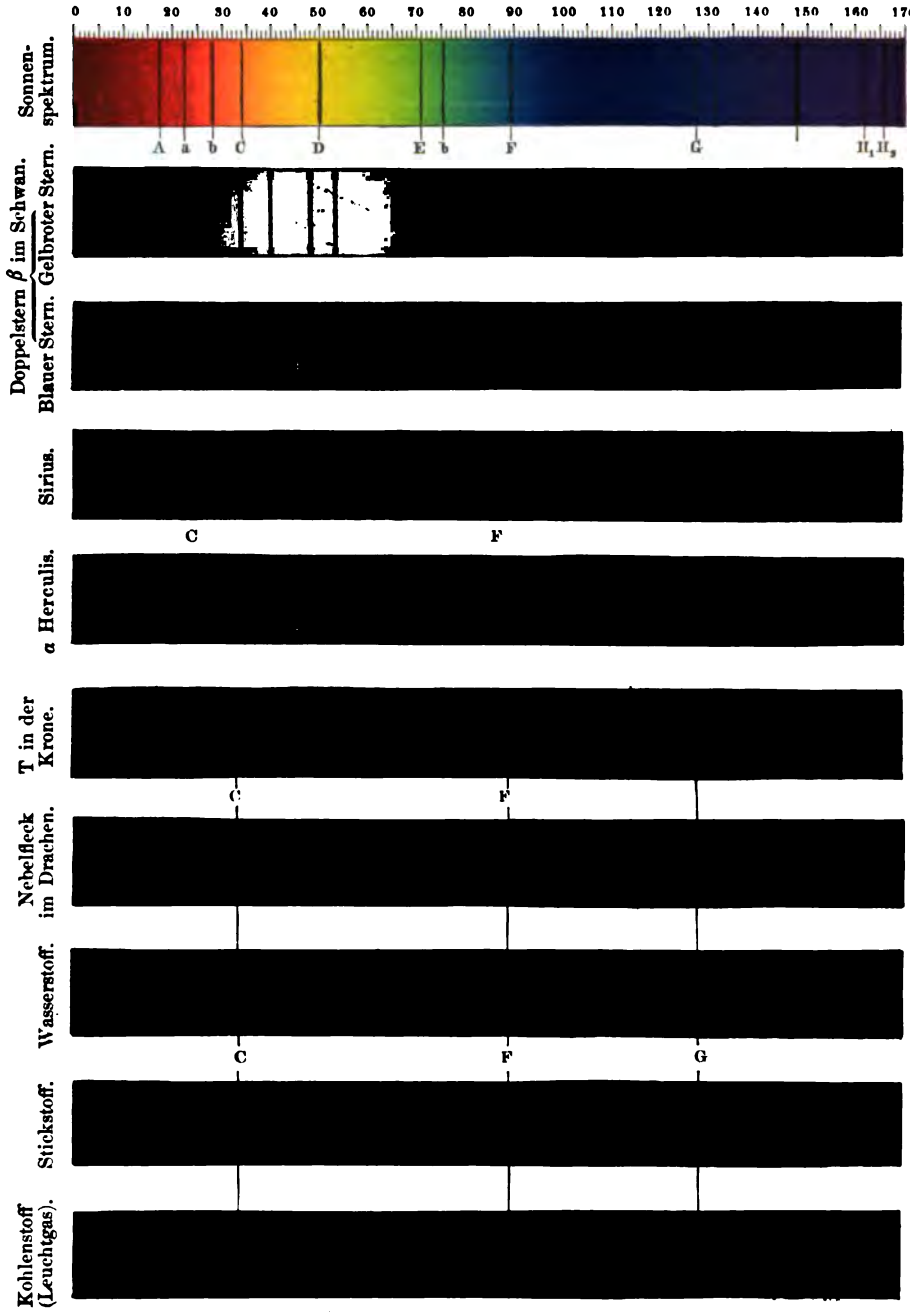
Spektren der Alkali- und Erdalkali-Metalle.

Nach BUNSEN *und* KIRCHHOFF.



Spektren der Fixsterne und Nebelflecke,

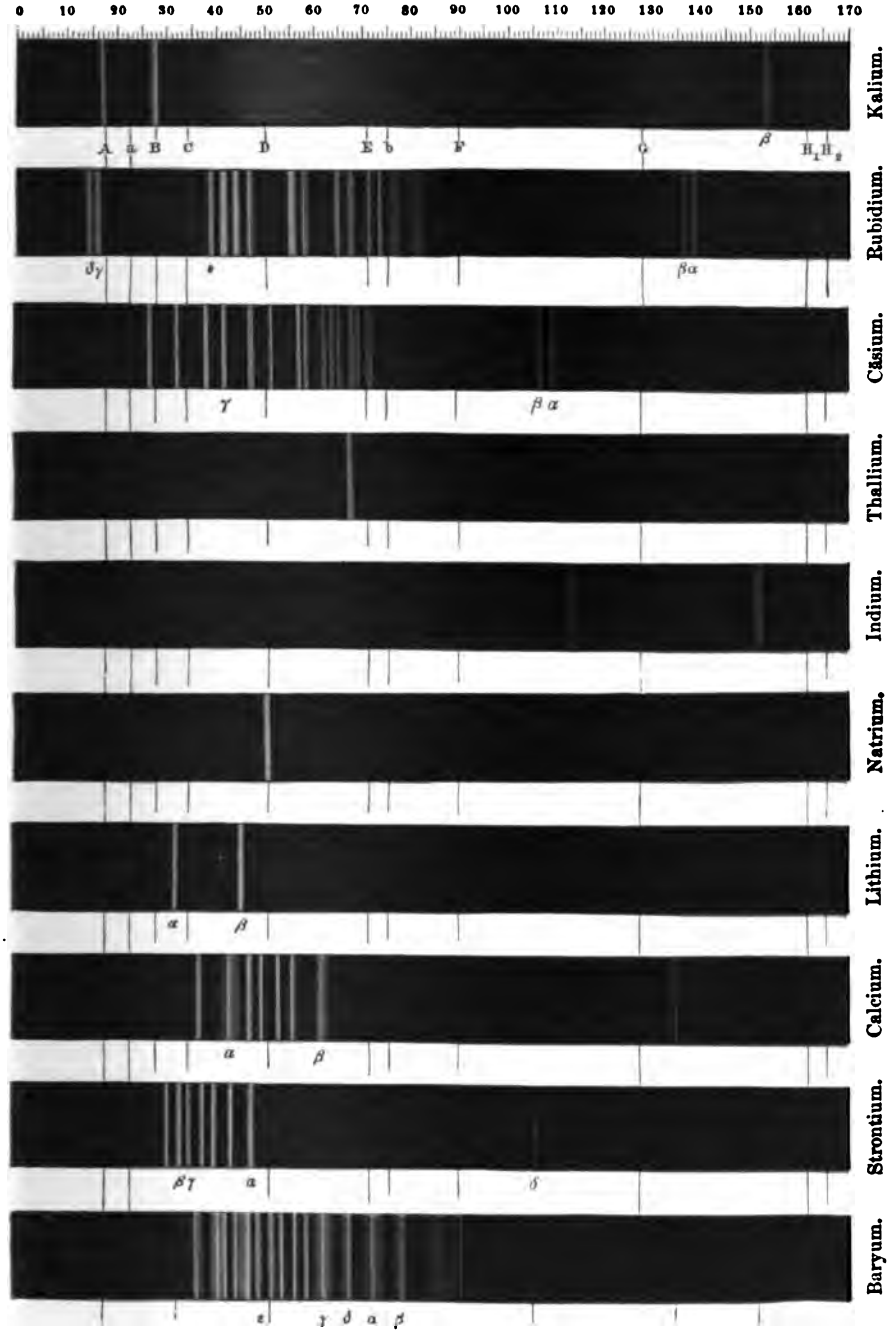
verglichen mit dem Sonnenspektrum und den Spektren einiger Nichtmetalle.



lanalyse.

Spektren der Alkali- und Erdalkali-Metalle.

Nach BUNSEN *und* KIRCHHOFF.

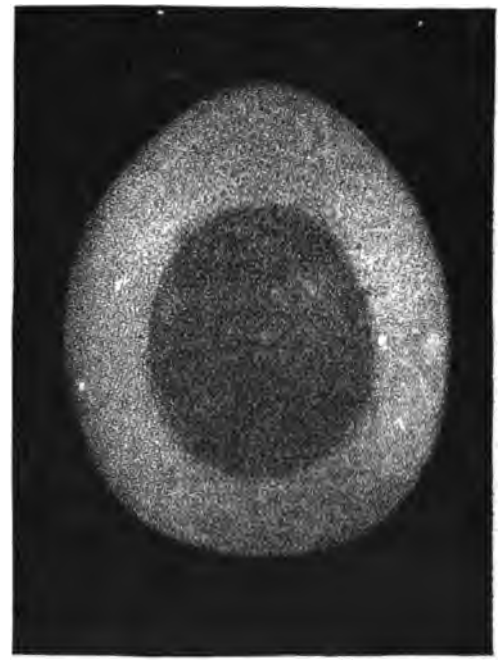


Abweichungen auf eine verschiedenartige Zusammensetzung der Atmosphäre der betreffenden Sterne. Das Spektrum der roten Sterne berechtigt uns nicht nur zu der Annahme, daß bei ihnen die Glühhitze bis zu einem Grade erniedrigt ist, welcher den Bestand chemischer Verbindungen gestattet, sondern wir sind selbst über die Natur dieser Verbindungen teilweise unterrichtet, seit es Vogel gelungen ist, in der Atmosphäre solcher Sterne Kohlenwasserstoffe nachzuweisen.

Die Sonne.

In den allgemeinsten Umrissen zeigt uns die Kantsche Theorie jene Phasen, welche die Erde durchlaufen haben muß, ehe sie ihre heutige Beschaffenheit annehmen und zur Wohnstätte orga-

Spiralnebel aus dem Orion. Vgl. Text, S. 70.



Ringnebel aus der Leier. Vgl. Text, S. 70.

nischer Wesen werden konnte. Es wäre jedoch kaum möglich, sich von den verschiedenen Entwickelungsperioden auch nur annähernd eine Vorstellung zu machen, wenn wir nicht bei einem derartigen Versuch durch die Beobachtungen an anderen Himmelskörpern unterstützt würden. Viele von diesen legen denselben oder einen ähnlichen Entwickelungsgang teils langsamer, teils schneller zurück und führen uns daher die verschiedenen Phasen vor Augen, welche die Erde entweder schon durchlaufen hat, oder welche ihr noch bevorstehen.

Für die früheste und ursprünglichste Epoche können wir nur bei den Nebelflecken nach einem Vergleichspunkt suchen. Ein Teil von diesen löst sich, durch kräftige Teleskope beobachtet, in eine große Menge einzelner Sternchen auf; daneben aber finden sich andere, welche, selbst mit den stärksten Instrumenten betrachtet, noch als Nebel erscheinen, und diese letzteren Vorkommnisse sind großenteils dadurch ausgezeichnet, daß sie, durch das Prisma betrachtet, nicht ein zusammenhängendes Spektrum mit einzelnen dunkeln Streifen, sondern auf dunklem Grunde nur

einzelne helle Linien liefern. Diese Nebelflecke bestehen demnach lediglich aus glühenden Gasen, unter welchen nach der Lage der Linien Stickstoff und nächst diesem Wasserstoff vorherrschen.

In einem derartigen Zustand muß die gewaltige Gasmasse gewesen sein, aus welcher die Sonne und die Planeten sich individualisierten. Besonders interessant ist der Vergleich mit solchen Nebelflecken, deren Form Anzeichen einer mächtigen Rotationsbewegung erkennen läßt, wie z. B. der Spiralnebel im Orion (s. Abbildung, S. 69, links), der Nebel in der Andromeda, dessen spirale Natur erst durch die photographische Aufnahme festgestellt wurde, und derjenige im Sternbilde der Jagdhunde (s. untenstehende Abbildung), in welchem um einen helleren Kern spiralförmig angeordnete Nebelstreifen lagern; ferner mit solchen Gebilden, welche ringförmige Gestalt haben und bisweilen in der Mitte des Ringes einen Stern zeigen (s. Abbildung, S. 69, rechts). Holden, der Direktor der berühmten neuen Lick-Sternwarte auf dem Berge Hamilton in Kalifornien, hat die merkwürdige Entdeckung von Nebelflecken gemacht, die im Raume eine schneckenförmige, helikalische Gestalt besitzen. Offenbar haben wir es in den Nebelflecken mit Gasmassen zu thun, die im Begriff stehen, sich unter der Wirkung der Zentrifugalkraft in einer Weise zu zerteilen, wie dies bei unserem Sonnensystem vor Äonen geschehen ist.

Spiralnebel aus den Jagdhunden.

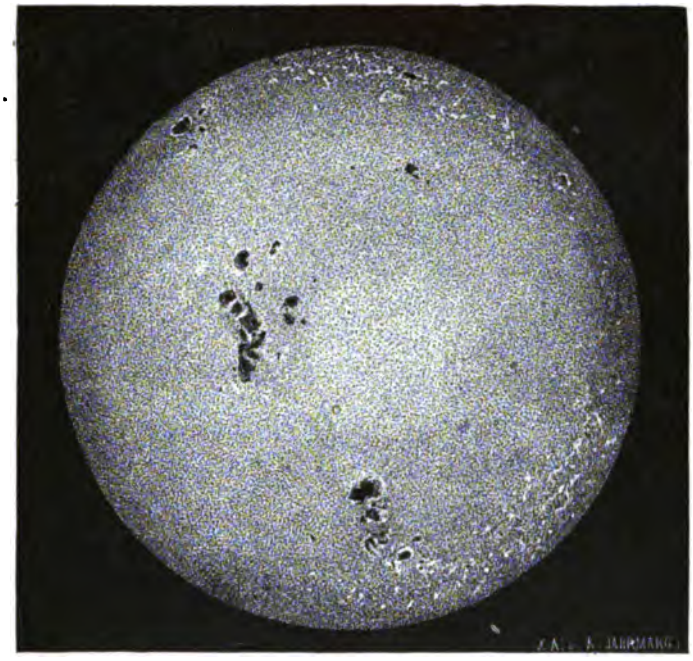
Phasen, welche die Erde weit später durchlaufen hat, sehen wir in dem jetzigen Zustand der Fixsterne und der Sonne repräsentiert. Die weißen Sterne des ersten Secchischen Typus, deren Spektren vorwiegend die Linien des Wasserstoffs und daneben wenige Metalllinien dunkel auf hellem Grunde zeigen, stellen offenbar das erste Stadium im Prozeß der Abkühlung dar. Weiter vorgeschritten sind in dieser Richtung die gelben Sterne, zu welchen auch die Sonne gehört, und da über diese letztere eine außerordentlich große Menge von Beobachtungen vorliegt, so lohnt es sich wohl, sie näher ins Auge zu fassen.

Dem freien Auge stellt sich die Sonne als eine gleichmäßig leuchtende Scheibe von makellosem, ungetrübtem Glanze dar; sie galt stets als das Symbol der Vollkommenheit und Reinheit, und diese Ansicht war so innig mit den philosophischen Systemen früherer Zeit verbunden, daß man anfangs sogar an der Richtigkeit des unmittelbar Gesehenen zweifelte, als die Anwendung von Fernrohren diesen Schein als eine Täuschung offenbarte. Ja, Scheiner in Ingolstadt, der ungefähr gleichzeitig mit Galilei, mit Fabricius in Wittenberg und Harriot in England die Existenz von Sonnenflecken entdeckte, unterließ es lange Zeit, seine Beobachtungen bekannt zu machen, da er sich scheute, eine allen hergebrachten Anschauungen so vollständig widersprechende Lehre zu verbreiten.

Aber rasch schwanden die Zweifel. Betrachtet man die Sonne durch ein gutes Instrument, an welchem die nötigen Vorrichtungen zum Schutze des Auges gegen den allzu blendenden Glanz angebracht sind, so findet man, daß der Anblick ihrer Oberfläche dem ersten Eindruck durchaus

nicht entspricht; sie zeigt sich eigentümlich granuliert, wie mit einer Unzahl kleiner Schäfchenwolken bedeckt, unruhig und wellenförmig bewegt; einzelne heller glänzende Stellen, die Sonnenfackeln, machen sich namentlich gegen die Ränder hin bemerkbar, und außerdem fallen einzelne tiefdunkle Stellen, die Sonnenflecke, auf (s. untenstehende Abbildung).

Unserem Auge erscheinen diese ziemlich klein, allein wenn man bedenkt, wie ungeheuer weit die Sonne von uns entfernt ist, so ergibt sich die sehr bedeutende Ausdehnung jedes dunkeln Punktes, den wir überhaupt zu unterscheiden im stande sind. Die Sonne mit ihrem Durchmesser von 187,000 deutschen Meilen, welcher denjenigen der Erde mehr als hundertmal übertrifft, sehen wir unter einem Gesichtswinkel von 32′ (32 Minuten), also von wenig mehr als $^1/_2{}^0$. Ein Gegenstand an der Oberfläche der Sonne, der uns unter dem winzig kleinen und mit guten Instrumenten eben noch genau meßbaren Winkel von 1″ (einer Sekunde) erscheint, hat in Wirklichkeit eine Größe von ungefähr 100 Meilen, und ein Körper von dem Durchmesser unserer Erde würde uns unter dem winzigen Winkel von etwa 17″ sichtbar sein.

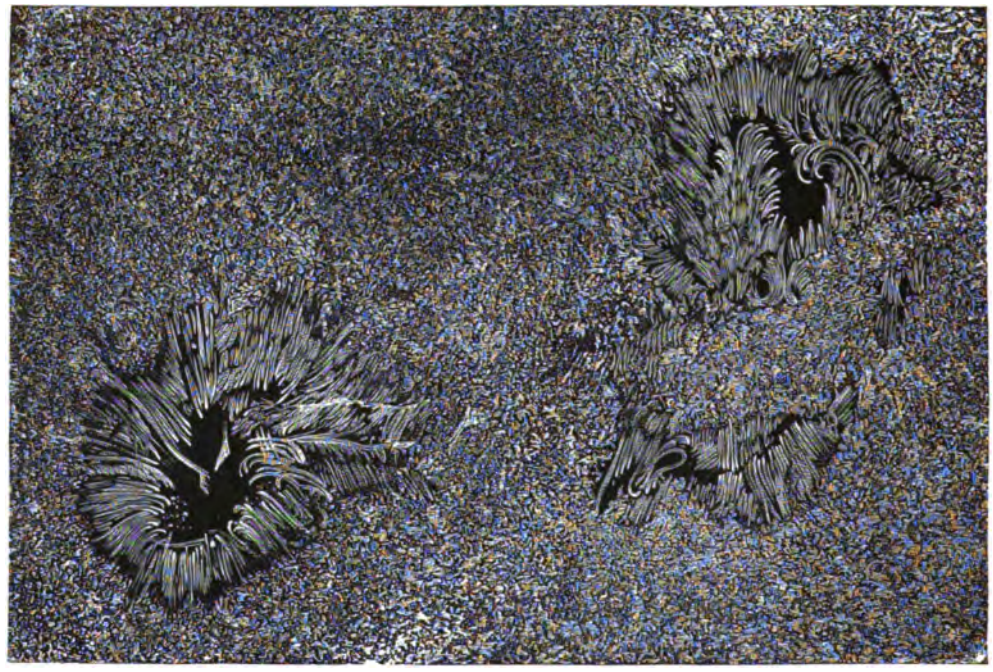


Die Sonnenoberfläche mit Flecken und Fackeln. (Nach Secchi.)

Die kleinsten Flecke sind außerordentlich feine schwarze Punkte, mit denen die Sonnenoberfläche oft wie besäet ist; während man diese meist als Poren bezeichnet, sind die eigentlichen Sonnenflecke weit größer und erreichen mitunter ganz kolossale Dimensionen. So beobachtete der Astronom Tobias Meyer am 15. März 1758 einen riesigen Fleck, dessen Durchmesser nicht weniger als ein Zwanzigstel des Sonnendurchmessers, also etwa 9000 geographische Meilen betrug und denjenigen der ganzen Erdkugel fünfmal übertraf. Noch bedeutend größer war ein zweiter Fleck, den einer der eifrigsten Beobachter dieser Erscheinungen, Schwabe in Dessau, am 4. September 1850 unter einem Winkel von etwa 5′ (5 Minuten) sah; derselbe besaß demnach einen Durchmesser von 30,000 geographischen Meilen und einen Flächenraum von 716 Millionen Quadratmeilen. Ein so riesiger Maßstab bei diesen Erscheinungen gehört allerdings zu den Ausnahmen, aber Flecke von einem Durchmesser wie unsere Erde und darüber sind ganz gewöhnliche Vorkommnisse.

Die Gestalt der Sonnenflecke ist überaus wechselnd; als normal kann die runde Form gelten, bei welcher ein tiefdunkel erscheinender Kern regelmäßig von allen Seiten von einem strahlenförmig angeordneten Gürtel, dem Halbschatten oder der Penumbra, umgeben ist. Daneben kommen Sonnenflecke von länglicher Gestalt vor, andere sind vollständig unregelmäßig; häufig läßt sich eine spiralige Anordnung erkennen, oft sind mehrere Flecke zu einer Gruppe vereinigt, kurzum, es herrscht die größte Mannigfaltigkeit (s. die Abbildungen, S. 72. u. 73), und

bedeutende Veränderungen der einzelnen Flecke lassen sich in verhältnismäßig kurzer Zeit erkennen: dieselben vergrößern oder verkleinern sich, Teilungen kommen vor, „Brücken" von leuchtender Materie ziehen sich mitten durch den Kern hindurch, und endlich löst sich der ganze Fleck auf, während andere an anderen Stellen entstehen. Den Vorgang der Neubildung kann man oft beobachten; schon einige Tage vorher kündigt sich derselbe in der Regel an, indem die leuchtende Oberfläche der Sonne in Bewegung gerät, Fackeln auftreten oder reichliche Poren, die sich anfangs schnell hin und her bewegen, bis eine derselben die Oberhand gewinnt, sich vergrößert und zu einem eigentlichen Flecke ausbildet, um den sich allmählich der Halbschatten legt. Aber nicht immer ist der Verlauf ein so einfacher und ruhiger; oft geht die Bildung in einer höchst stürmischen Weise und unter gewaltigen Ausbrüchen glühender Gase aus dem Sonneninnern vor sich.



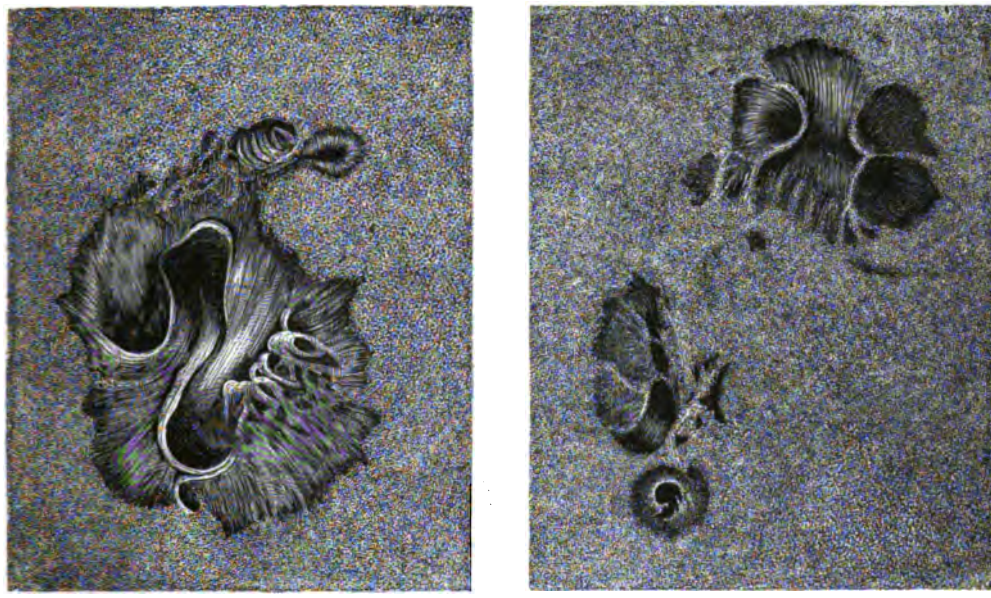
Sonnenflecke. (Nach Secchi.) Vgl. Text, S. 71.

Wie die Form, so ist auch die Zahl und Größe der gleichzeitig vorhandenen Flecke sehr verschieden; manchmal sind sie in so geringer Menge und Ausdehnung zu sehen, daß die älteren Beobachter mit ihren schwachen Instrumenten glaubten, die Sonne sei bisweilen monate- und jahrelang ganz fleckenfrei. Diese Ansicht hat sich nun allerdings mit der Vervollkommnung der Teleskope als unrichtig erwiesen. Aber trotzdem herrschen schroffe Gegensätze: zu manchen Zeiten sind die Flecke sehr schwach, während sie zu anderen in bedeutender Größe und Zahl auftreten. Langjährige Beobachtungen über diesen Gegenstand haben eine gesetzmäßige Folge des Wechsels ergeben, wonach ungefähr alle elf Jahre ein Maximum eintritt, auf welches ein Minimum folgt; und bekanntlich fallen diese Perioden der Sonnenflecke mit jenen des Erdmagnetismus und des Auftretens von Nordlichtern zusammen.

Jeder Fleck stellt offenbar eine kleine Verminderung der leuchtenden und wärmestrahlenden Oberfläche der Sonne dar oder vielmehr eine beträchtliche Verminderung der Ausstrahlung auf einem geringen Teil dieser Fläche. Wir kennen eine Anzahl von Fixsternen, die als veränderlich bezeichnet werden und teilweise bedeutenden Schwankungen in ihrer Lichtstärke unterworfen sind,

und offenbar gehört nach dem soeben Mitgeteilten auch unsere Sonne in diese Kategorie, wenn auch der Betrag der Schwankung kein erheblicher ist, da die Gesamtfläche, welche die Flecke bei einem Maximum ihres Auftretens einnehmen, noch nicht 1/500 der ganzen Sonnenscheibe zu bedecken pflegt. Daß sich diese Unterschiede in der uns zugehenden Menge von Licht und Wärme auch auf der Erde geltend machen, ist gewiß, und es ist nur zweifelhaft, ob die Unterschiede bedeutend genug sind, um beobachtet und gemessen zu werden.

Wie wir hier trotz aller Unregelmäßigkeit in den einzelnen Erscheinungen eine entschiedene Gesetzmäßigkeit in zeitlicher Beziehung kennen gelernt haben, so finden wir eine solche auch in der räumlichen Verteilung der Flecke. In der Umgebung der beiden Pole der Sonne fehlen sie ganz, und in einer Entfernung von mehr als 30 Breitengraden vom Äquator gehört ihr Auftreten zu den Seltenheiten; ebenso selten finden sie sich in unmittelbarer Nähe des Äquators, wo-



Sonnenflecke. (Nach Secchi.) Vgl. Text, S. 71.

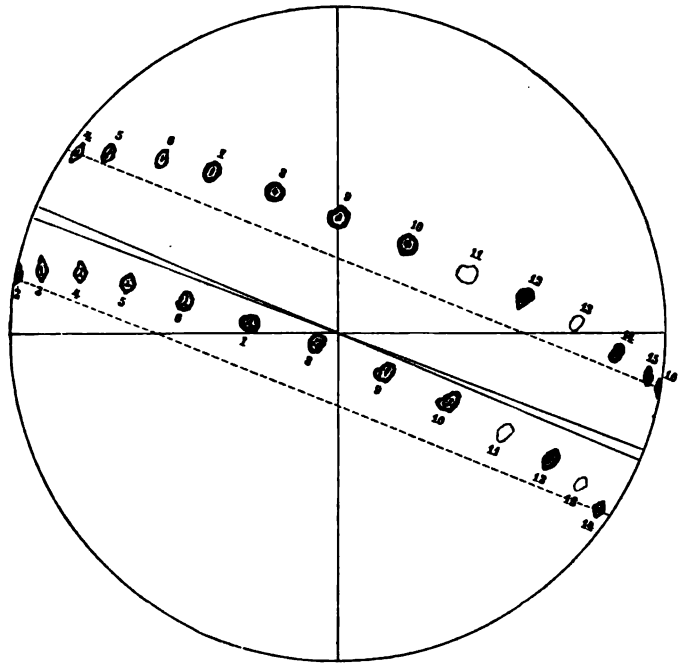
gegen sich in den beiden „Königszonen" zwischen dem 10. und 30.° nördlicher Breite einerseits und denselben Graden südlicher Breite anderseits die größte Mehrzahl konzentriert.

Beobachtet man einen und denselben Sonnenfleck mehrere Tage nacheinander, so bemerkt man, daß er seinen Ort verändert und zwar in der Art, daß er am östlichen Rande der Sonne erscheint und allmählich nach Westen vorrückt, bis er am westlichen Rande wieder verschwindet (s. Abbildung, S. 74). Zwar haben die Flecke auch eine eigene Bewegung, dieselbe ist aber verhältnismäßig gering. Die regelmäßige Verschiebung, von welcher wir hier sprechen, ist eine scheinbare: der Fleck ändert seine Lage auf der Sonne nicht wesentlich, sondern die Sonne selbst dreht sich in dem angegebenen Sinne um ihre Achse; natürlich machen auch die Flecke die Bewegung mit, und man hat daraus die Zeit, welche die Sonne zu einer vollen Umdrehung um ihre Achse braucht, auf 25,38 Tage berechnet. Nach Ablauf einer halben Umdrehung sollte jeder Fleck, der am Ostrande der Sonne verschwunden ist, am Westrande wieder erscheinen; doch ist die Unbeständigkeit dieser Gebilde so groß, daß sie oft in der Zeit, während welcher sie uns unsichtbar sind, verschwinden und sich auflösen, oder ihre Form so bedeutend verändern, daß sie bei ihrem Wiederauftauchen nicht mit Sicherheit mehr erkannt werden können. Von vielen dagegen

wurde die Wiederkehr beobachtet, ja einzelne derselben, welche allerdings seltene Ausnahmen bilden, konnten während 6—8, einer sogar während 18—22 Umdrehungen der Sonne, also im letzteren Falle $1^1/_2$ Jahre hindurch verfolgt werden.

Natürlich ist die Form der Flecke sehr verschieden, je nachdem wir sie am Rande oder in der Mitte der Sonne sehen. Nach den Regeln der Perspektive erscheinen sie uns im ersteren Fall ganz schmal, mit linienförmigem Kern, während wir sie im letzteren in ihrer vollen Breite mit regelmäßig rundem Kern wahrnehmen. Die Abbildungen auf S. 75 werden dieses Verhältnis hinreichend erläutern.

Die weißglühende Masse der Sonne, in welcher die Flecke auftreten, bezeichnet man als die Photosphäre (φῶς [phos], d. h. Licht), die Sphäre des Lichtes, und sie ist es, welche den weitaus größten Teil der Ausstrahlung von Sonnenenergie vermittelt, und welche wir mit freiem Auge allein sehen. In Wirklichkeit aber legen sich um die Photosphäre noch andere Hüllen herum, die uns unter gewöhnlichen Verhältnissen unsichtbar bleiben und zuerst bei Gelegenheit totaler Sonnenfinsternisse beobachtet wurden. Man sieht dann einen schmalen Ring von rotem Licht, dessen spektroskopische Untersuchung ergab, daß er in den oberen Schichten aus glühendem Wasserstoff und einem auf der Erde nicht bekannten, durch eine gelbe Linie im Spektrum gekennzeichneten Element, dem sogenannten Helium, besteht. In den tieferen Lagen dagegen weist die Spektralanalyse das Vorhandensein einer Anzahl schwerer Metalle in gasförmigem Zustand nach. Diese rötlich leuchtende Gasmasse, die eine Dicke von 1000—1500 Meilen besitzt und wie ein loderndes Feuermeer die ganze Sonne umspült, hat ihrer Färbung wegen den Namen Chromosphäre (χρῶμα [chroma], d. h. Farbe) erhalten.

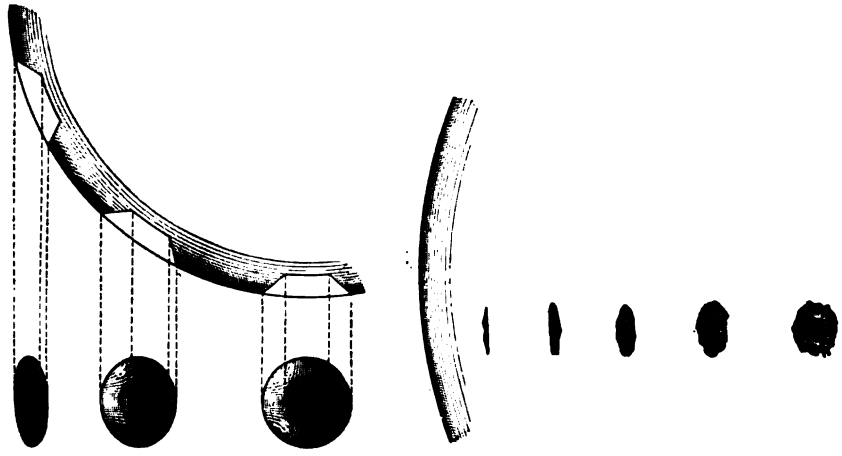


Zwei Sonnenflecke, in ihrem allmähligen Vorrücken über die Sonnenscheibe dargestellt. (Nach Secchi.) Vgl. Text, S. 73.

Zwischen Photosphäre und Chromosphäre liegt eine äußerst dünne und merkwürdige Gasschicht. Ist der Spektralapparat beim Beginn der Totalität einer Sonnenfinsternis genau auf die Stelle gerichtet, an welcher die letzte Spur der Photosphäre hinter dem vorrückenden Monde verschwindet, so blitzen in dem Augenblicke, wo die Sonne vollständig bedeckt wird und also nur das Licht der untersten Teile der Sonnenatmosphäre in das Spektroskop gelangt, durch die ganze Länge des Spektrums Tausende von hellen Linien auf. Demnach besteht diese Schicht aus den glühenden Dämpfen sämtlicher Sonnenmetalle; das weiße Licht der Photosphäre muß diese passieren, und hierbei werden die den betreffenden Metallen eignenden Strahlen absorbiert und die Fraunhoferschen Linien erzeugt. Man nennt diesen Teil der Sonnenatmosphäre die umkehrende Schicht.

Als äußerste Umgebung der Sonne erscheint bei totalen Finsternissen ein die schwarze Scheibe rings umfließender strahlender Lichtschimmer, die Korona, welche in unmittelbarer Nähe des dunkeln Kreises am hellsten ist und sich von da allmählich in den Himmelsgrund abtönt (s. Abbildung, S. 76). Sie breitet sich bis in Höhen aus, welche selbst mehrere Sonnenradien betragen können. Das Spektrum der Korona zeigt neben den Linien des Wasserstoffes eine grüne, bei keinem irdischen Stoffe bekannte Linie. Man hat das Gas, dem diese letztere angehört, Coronium genannt und muß auf Grund verschiedener Erwägungen annehmen, daß es eine noch viel leichtere Substanz sei als Wasserstoff.

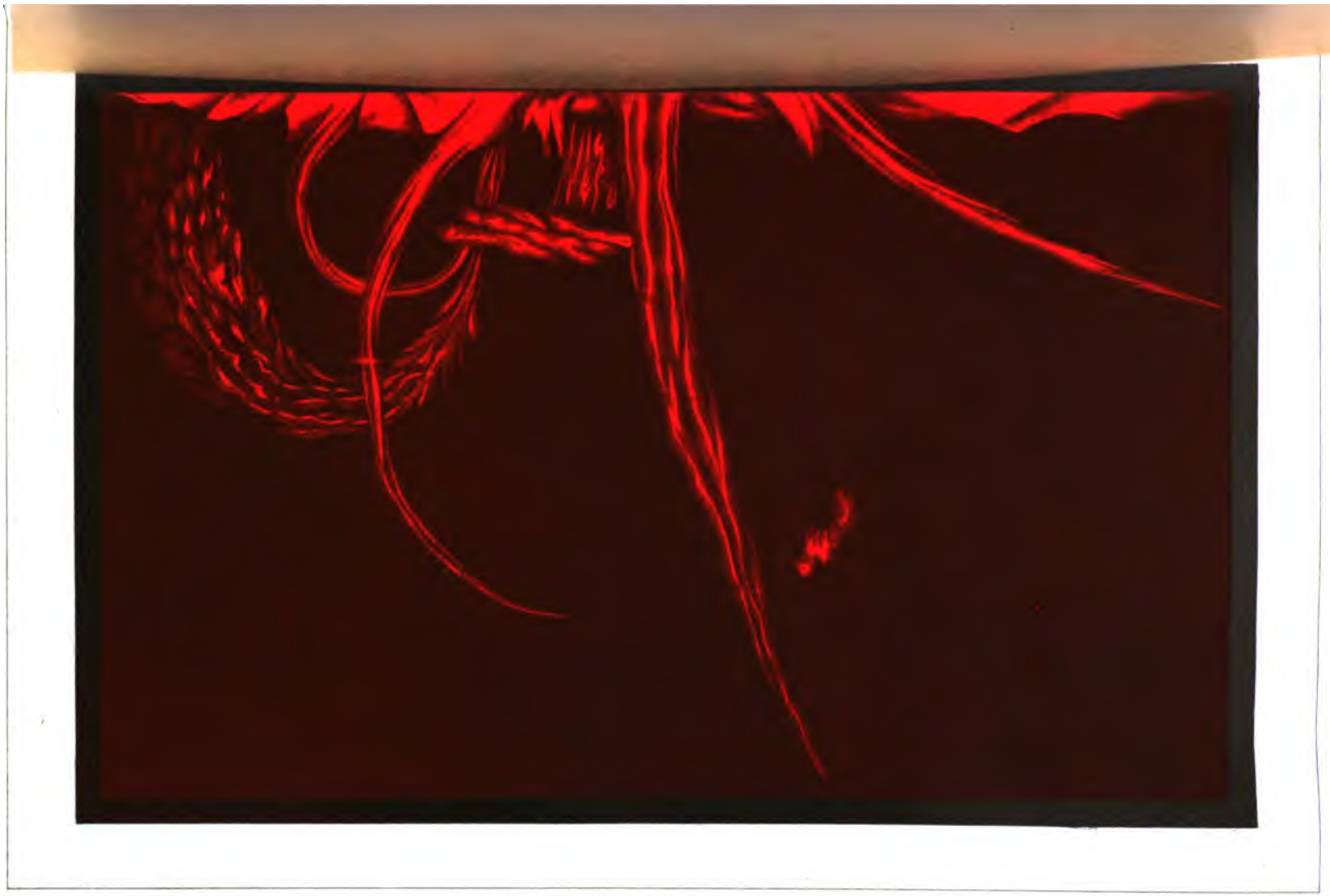
Von besonderer Wichtigkeit sind die Vorgänge an der Oberfläche der Chromosphäre. Bei der totalen Finsternis am 8. Juni 1842 gewahrte man am Rande der verfinsterten Scheibe rote Hervorragungen, welche man Protuberanzen nannte. Wohl waren dieselben schon früher beobachtet worden, aber sie hatten keine große Aufmerksamkeit erregt; um so mehr war dies nun der

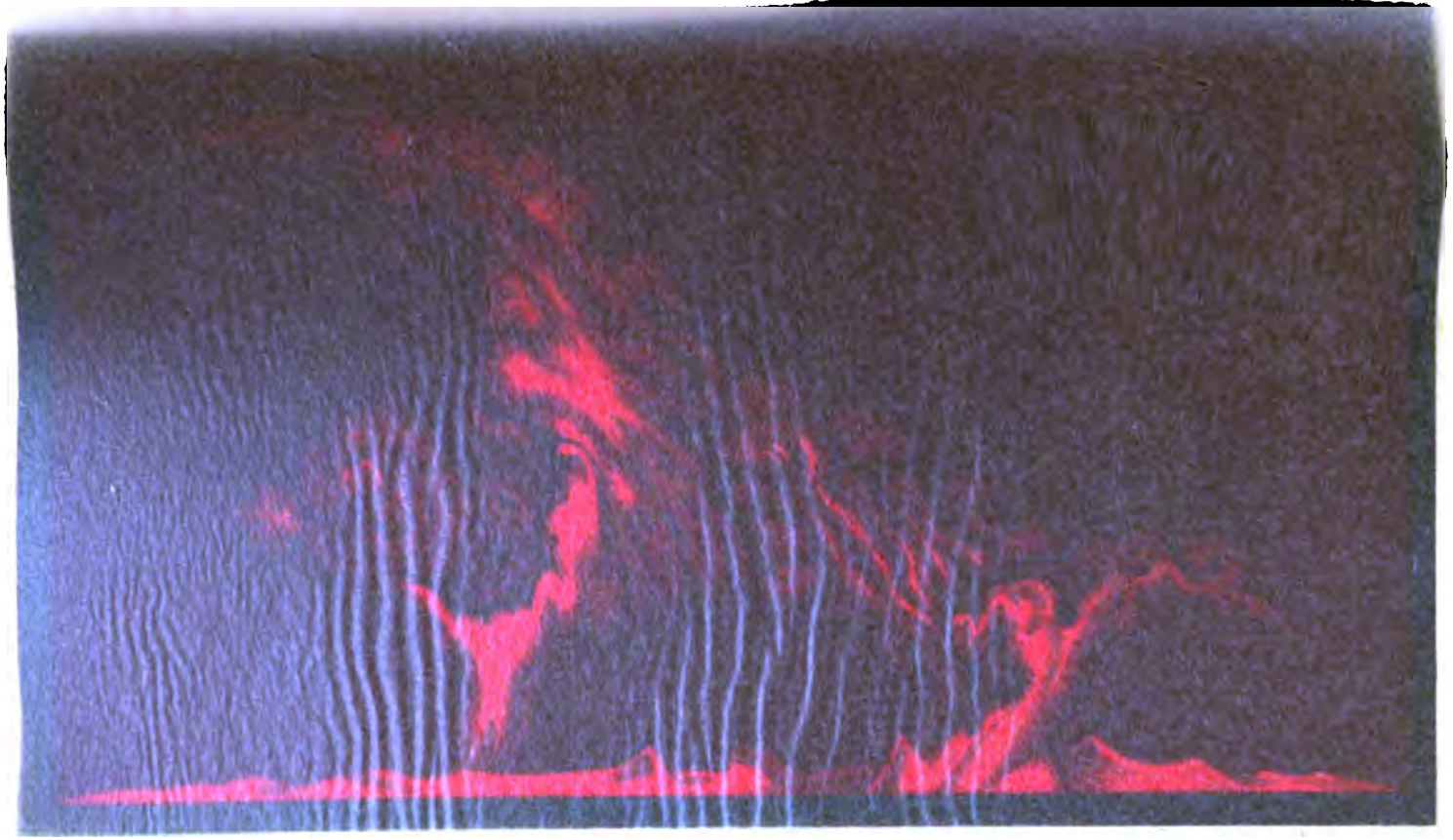


Schematische Darstellung der scheinbaren Veränderung der Sonnenflecke durch die Umdrehung der Sonne. (Nach Secchi.) Vgl. Text, S. 74.

Fall, und mit großer Spannung wurden die nächsten totalen Finsternisse erwartet, um über die Natur dieser seltsamen Gebilde weitere Untersuchungen anzustellen. In der That lieferten diese wichtige Resultate. In ein neues Stadium traten aber diese Untersuchungen, als es vor einiger Zeit gelang, Protuberanzen und Chromosphäre jederzeit, auch bei voll scheinender Sonne, im Spektralapparat zu beobachten.

Man lernte verschiedene Arten von Protuberanzen unterscheiden. Die einfachste Form stellen die sogenannten Haufenprotuberanzen dar, welche oft nur als glänzende Anhäufungen der chromosphärischen Schicht erscheinen, während andere, die Nebelprotuberanzen, in ihrer Gestalt unseren Wolken vergleichbar sind oder sich dadurch bilden, daß eine oder zwei Feuersäulen aus der Chromosphäre aufsteigen und sich dann in einer Höhe, die bis zu 16,000 geogr. Meilen betragen kann, in nebelartige Massen auflösen. Die hell leuchtenden metallischen oder Strahlenprotuberanzen steigen dagegen mit großer Schnelligkeit senkrecht oder schief von der Oberfläche der Sonne auf und breiten sich in der Höhe garbenförmig aus oder fallen raketenartig wieder zurück. Ihre Dauer, während welcher sie fortwährenden heftigen Veränderungen unterworfen sind, ist in der Regel eine ziemlich kurze. Die Art und Weise des Aufschießens dieser merkwürdigen Gebilde läßt sich mit nichts auf Erden als mit den gewaltigsten vulkanischen Eruptionen vergleichen, und wahrscheinlich haben wir es in ihnen mit Ausbrüchen glühender Gase





100 000 engl. Meilen

Protuberanzen, beobachtet von Winlock 29. April 1872.

Protuberanzen, beobachtet von Winlock 15 April 1872.

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 000 engl. Meilen.

SONNEN-PROTUBERANZEN.

Die Theorie Secchis vom gasförmigen Zustand der Sonne stützt sich vornehmlich auf die geringe Dichte der Sonne und deren ungeheure Temperatur. Die Astronomen haben gezeigt, daß die Dichte der Sonne nur wenig größer ist als die des Wassers. Nun besteht aber nach den Ergebnissen der Spektralanalyse die Sonne zum großen Teil aus Eisen und anderen schweren Metallen, es wäre daher ein viel höheres Gewicht zu erwarten, wenn diese flüssig wären. Dieser Erwägung ist freilich entgegengehalten worden, daß der Druck im Innern des Sonnenkörpers so gewaltig sein müsse, daß in einiger Entfernung von der Oberfläche jedes Gas verdichtet werden müßte. Ein solcher Druck ist ohne Zweifel vorhanden, allein diesem wirkt die enorm hohe Temperatur entgegen. Laboratoriumsexperimente, zuerst die von Natterer, haben wohl gezeigt, daß durch genügend hohen Druck alle Gase in die flüssige und feste Form gebracht werden können, aber nur in dem Falle, wenn die Temperatur gewisse Grenzen nicht überschreitet. Sobald die Temperatur zu hoch ist, reicht selbst der gewaltigste Druck, den wir erzeugen können, zum Verflüssigen der Gase nicht mehr aus. Der Wärmegrad, bei welchem diese Grenze erreicht ist, der sogenannte „kritische Punkt", ist bei verschiedenen Gasen verschieden; bei der Kohlensäure z. B. beträgt er 31° C. Secchi nimmt nun an, daß auf der Sonne eine so ungeheure Hitze herrsche, daß der kritische Punkt überschritten sei und die Gase und Metalldämpfe selbst unter dem enormen dort herrschenden Drucke nicht flüssig werden können. Gase, welche solchen Verhältnissen ausgesetzt sind, d. h. bei sehr hoher Temperatur unter sehr hohem Drucke stehen, werden sehr stark verdichtet werden müssen, und man wird sie daher nicht schlechtweg als gasförmig bezeichnen können. Sie werden jedenfalls eine sehr zähe Masse bilden, und es werden kleine Änderungen im Druck und in der Temperatur genügen, um bedeutende Störungen in der äußeren Hülle einer solchen Masse hervorzurufen. Solche Störungen zieht Secchi zur Erklärung der Protuberanzen, der Flecke und Fackeln heran.

Ein Sonnenfleck, von Fackeln umgeben. (Nach Secchi.)
Vgl. Text, S. 76.

Man hält jetzt wohl ziemlich allgemein an dem gasförmigen Zustand der Sonne fest, obwohl auch diese Anschauung eine vollkommen befriedigende Erklärung aller Erscheinungen bisher nicht zu liefern vermochte. Vor allem sehen wir in der Konzentrierung der Flecke in den Königszonen und in deren Periodizität zwei fundamentale Thatsachen, über welche wir uns gar keine Rechenschaft geben können. Auch die neueste Hypothese von A. Schmidt, nach welcher die Protuberanzen und Flecke bloß Erscheinungen der Strahlenbrechung wären, hervorgerufen durch Dichteveränderungen der inneren Schichten, gibt hierfür keine Erklärung. Wir können über diese Erscheinungen bisher leider nicht mehr sagen, als daß sie aller Wahrscheinlichkeit nach eine Folge der Abkühlung unseres Zentralkörpers sind. Und es liegt in der That auf der Hand, daß die Sonne, so hoch auch ihre Temperatur sein mag, doch allmählich kälter werden muß, nachdem sie seit vielen Millionen von Jahren unausgesetzt unermeßlich große Wärmemengen in den kalten Weltraum ausstrahlt.

Die Temperatur der Sonne kennen wir nicht, aber man kann wenigstens die Wärmemenge messen, die sie abgibt, und man hat gefunden, daß dieser Verlust ein enorm großer ist, und daß selbst unter den günstigsten Verhältnissen die ganze Sonnenmasse sich um mindestens 1,8° jährlich abkühlen, daß mithin in der historischen Zeit eine Temperaturabnahme von mehr als

10,000° eingetreten sein müßte. Bedenkt man, daß dieselbe Strahlung seit vielen Millionen von Jahren stattfindet, daß ferner das Innere der Sonne weit langsamer erkaltet als die äußeren Teile, so hätten offenbar diese letzteren schon längst erstarren und sich mit einer dunkeln, festen Kruste bedecken müssen, wenn nicht auf irgend eine Weise für Ersatz gesorgt wäre. Man hat vielfach nach Quellen gesucht, welche einen solchen Ersatz leisten könnten, und es gehört zu den schönsten Erfolgen der Physik, daß es ihr gelungen ist, solche nachzuweisen. Helmholtz hat hier zuerst den richtigen Weg gezeigt, indem er hervorhob, daß die Zusammenziehung der Sonne selbst diese Wirkung hervorbringt. Bei dieser Zusammenziehung wird eine Wärmemenge frei, welche noch auf viele Millionen von Jahren hinaus den Verlust zu decken im stande ist. Nach neueren Untersuchungen scheint es sogar, als ob die Sonnenwärme infolge dieses Vorganges trotz aller Strahlung noch in Zunahme sein könnte.

Eine weitere Wärmequelle, doch eine solche von untergeordneterer Bedeutung, ist in den Meteoriten zu erblicken, welche alljährlich in großer Menge auf die Sonne niederstürzen.

Aber noch aus anderer Quelle steht der Sonne in einer allerdings noch fernen Zukunft eine kolossale Zufuhr von Wärme bevor. Die astronomischen Beobachtungen geben zwar vorläufig noch keinen unmittelbaren Nachweis dafür, daß sich die Geschwindigkeit der Planeten auf ihrem Laufe um die Sonne verringere, aber es sprechen sehr wichtige Gründe für eine solche Annahme. Die Fortpflanzung der oszillierenden Bewegungen von Licht und Wärme bedarf eines körperlichen, den ganzen Raum erfüllenden Substrats, des sogenannten Äthers, und dieser muß die Bewegung der Himmelskörper durch einen wenn auch noch so geringen Widerstand hemmen. Dieselbe Wirkung müssen die fortwährend niederfallenden Meteormassen ausüben, und diese Erscheinungen werden ein überaus langsames, aber stetig fortschreitendes Überwiegen der durch die Schwerkraft hervorgebrachten Anziehung der Sonne über die zentrifugale Kraft der Planeten hervorbringen. Die Planeten werden demnach nicht Ellipsen, sondern sehr enge Spiralen beschreiben und sich immer mehr der Sonne nähern, bis sie endlich auf diese niederstürzen. Natürlich wird Merkur zuerst dieses Schicksal erleiden, ihm wird Venus, dann die Erde und alle anderen Planeten der Reihe nach folgen, und es bedarf wohl keiner weitläufigen Erörterung, um zu zeigen, daß bei einem solchen Ereignis eine ganz ungeheure Erhitzung stattfinden wird. So wird jeder Planet bei seinem Falle auf die Sonne wieder Wärme erzeugen, bis auch der letzte von ihnen mit dem Zentralkörper vereinigt ist und dieser dann ohne neuen Ersatz der Erstarrung entgegengeht. Wird diese dann eine definitive sein, oder wird ein neuer Kreislauf beginnen, indem die Sonne bei ihrer Erkaltung zerklüftet und zerspringt und dadurch neue Wärme erzeugt, oder wird diese Erhitzung einst durch den Zusammenstoß mit einem anderen Weltkörper stattfinden? Das sind Fragen, deren Besprechung uns von unserem Hauptziele, von der Kenntnis der Geschichte der Erde, zu weit ablenken würde.

Der Zustand der Gestirne.

Wir dürfen mit großer Wahrscheinlichkeit schließen, daß in ungefähr demselben Zustand wie die Sonne sich auch die übrigen gelben Sterne befinden, zu welchen die Sonne ja auch gerechnet werden muß, und wir haben hier ein weiteres Stadium in dem Entwickelungsgang kennen gelernt, welchen die sich abkühlenden Himmelskörper durchlaufen. Einen Schritt weiter führt uns die Betrachtung der roten und meist veränderlichen Sterne, welche Secchi als seinen dritten und vierten Typus der Fixsterne anführt. Wie wir gesehen haben, sind die Spektra dieser Körper durch das Auftreten breiter dunkler Streifen, der sogenannten Kolonnaden, charakterisiert und zeigen Eigentümlichkeiten, die auf das Vorhandensein chemischer Verbindungen in

großer Menge hinweisen. Während auf den weißen und gelben Sternen die Hitze eine so bedeutende zu sein scheint, daß chemische Verbindungen nicht existieren können, sondern die Elemente in freiem Zustand vorhanden sind, muß die Abkühlung auf diesen roten Gestirnen so weit vorgeschritten sein, daß keine allgemeine „Dissociation" der Grundstoffe mehr stattfindet. Zu demselben Schlusse, zu der Annahme einer niedrigeren Temperatur auf den in Rede stehenden Weltkörpern, führt uns der Umstand, daß sich unter denselben sehr viele von veränderlicher Lichtstärke finden. Allerdings können nicht alle derartigen Schwankungen des Glanzes auf dieselben Ursachen, nicht alle auf Abkühlung zurückgeführt werden. Manche zeigen sehr regelmäßig periodische Veränderungen, für welche jedenfalls die einfachste und natürlichste Erklärung die ist, daß sie von einem großen dunkeln Satelliten begleitet werden, der, in gewissen Perioden vor ihnen vorübergehend, sie teilweise bedeckt und verfinstert. In anderen Fällen aber ist die Ansicht offenbar gerechtfertigt, daß wir es mit äußerst starker Fleckenbildung zu thun haben oder mit schon vollzogener Bildung von erstarrten Kontinenten in dem Glutmeer flüssigen Materials.

Daß in diesem Gange der allmählichen Abkühlung und Verdunkelung sich bisweilen überaus heftige Katastrophen einstellen, beweisen die sogenannten neuen oder plötzlich aufleuchtenden Sterne; das bekannteste Ereignis dieser Art stellte der vielgenannte Stern Tycho Brahes, des berühmten dänischen Astronomen aus dem 16. Jahrhundert, dar. Tycho erblickte eines Abends zu seinem größten Erstaunen nahe am Zenith im Sternbild der Kassiopeia einen hell leuchtenden Fixstern von nie gesehener Größe. Der merkwürdige Fremdling erschien am 11. November 1572 im hellsten Glanze mit weißem Licht, im Aussehen ganz einem Fixstern ähnlich, aber weit heller als irgend einer von diesen und die Venus an Helligkeit erreichend; allein bald trat eine Verminderung ein, schon im Dezember desselben Jahres war er nur noch dem Jupiter gleich und im Februar und März 1573 einem gewöhnlichen Stern erster Größe mit gelber Farbe. Ende März nahm er rotes Licht an, ähnlich dem des Mars, im April und Mai sank er zur zweiten Größe herab, im Juli und August zur dritten, im Oktober und November zur vierten. Der Übergang von der fünften zur sechsten Größe fand vom Dezember 1573 bis Februar 1574 statt, und später verschwand der neue Stern, der wieder weiße Farbe angenommen hatte, dem freien Auge vollständig, nachdem er im ganzen 17 Monate lang sichtbar gewesen war. Aller Wahrscheinlichkeit nach ist er identisch mit einem teleskopischen Sternchen zehnter oder elfter Größe, das Argelander fast genau an der von Tycho bezeichneten Stelle fand.

Ähnliche Erscheinungen wurden noch mehrmals beobachtet; der sogenannte Keplersche Stern wurde am 10. Oktober 1604 im Sternbild des Schlangenträgers entdeckt, er erreichte an Glanz fast die Venus, war aber im März 1606 selbst für sehr scharfe Augen nicht mehr sichtbar. In der Nacht des 12. Mai 1866 entdeckten Julius Schmidt in Athen und John Birmingham in Irland im Sternbild der Nördlichen Krone plötzlich einen sehr hellen Stern, der vorher nicht vorhanden war; noch in derselben Nacht verminderte er seine Lichtstärke und war nach acht Tagen mit dem bloßen Auge nicht mehr zu erkennen. Genaue Bestimmungen des Ortes zeigten, daß dieser Stern schon lange von Argelander als der neunten bis zehnten Größe angehörig verzeichnet war, und mit derselben Lichtintensität ist er auch heute wieder sichtbar. Ein ähnlicher Fall wurde im Jahre 1876 von Julius Schmidt im Sternbild des Schwanes entdeckt. Endlich flammte im August 1885 mitten im Andromeda-Nebel ein neuer Stern sechster Größe auf, welcher schon im Jahre 1886 zur zwölften Größe herabgesunken und allmählich gänzlich unsichtbar geworden war. Wegen der überaus regelmäßigen Abnahme der Lichtstärke hält es Seeliger für wahrscheinlich, daß eine plötzliche Erwärmung, vielleicht durch den Einsturz eines dunkeln, festen Gestirns hervorgerufen, die Ursache des Aufleuchtens war. Man muß daher auch diesen Vorgang als Veranlassung zur Bildung „neuer" Sterne im Auge behalten.

Die Beobachtungen des Fixsternhimmels zeigen uns keine weiteren Stadien des Abkühlungsprozesses als die bisher betrachteten; Körper, die noch geringere Temperatur besitzen als Secchis dritter und vierter Typus, brauchen durchaus nicht ganz dunkel zu sein, aber ihr Glanz ist doch zu gering, um aus jenen unermeßlich fernen Himmelsräumen bis zu uns zu bringen. Wollen wir weitere Vergleichspunkte finden, so müssen wir in unserem Planetensystem Umschau halten, dessen Glieder nur im Widerschein des Sonnenlichts glänzen. Für die vier äußeren großen Planeten: Neptun, Uranus, Saturn und Jupiter, scheint dies allerdings nicht vollständig richtig zu sein, denn die neueren Untersuchungen machen es in hohem Grade wahrscheinlich, daß sie neben dem ganz überwiegenden reflektierten Lichte der Sonne auch in sehr geringem Maße eigenes Licht ausstrahlen; dieselben wären demnach noch in einem wenn auch schwach glühenden Zustand. Ob sie gasförmig, flüssig oder fest seien, läßt sich nicht mit Bestimmtheit sagen; nur so viel ist sicher, daß ihre Dichtigkeit eine ziemlich geringe ist. Die Atmosphäre dieser Planeten wurde schon bei der Besprechung der Spektralanalyse erwähnt, ebenso bereits früher des bekannten Ringes gedacht, welcher den Saturn umgibt; nur kurz heben wir die eigentümlichen streifigen Flecke hervor, die einen großen Teil der Oberfläche des Jupiter bedecken und bisher als Wolkenbildungen gedeutet wurden, während Barnard auf Grund langjähriger Beobachtungen neuerlich annimmt, daß sich die Oberfläche in einem plastischen, teigartig weichen Zustand befinde. Die Streifen sollen in Wirklichkeit Farbenveränderungen zuzuschreiben sein, welche durch innere Eruptionen verursacht werden. Jupiter würde uns, wenn diese Anschauung sich bestätigen sollte, das Abbild einer alternden, langsam erlöschenden Sonne darbieten.

Über die zahlreichen Asteroiden ist wenig zu bemerken; an den größten unter ihnen, besonders an Vesta, sind Spuren einer Atmosphäre entdeckt worden.

Von um so größerem Interesse sind die Beobachtungen an den Planeten innerhalb des Gürtels der Asteroiden, oder wenigstens an einem von ihnen, an Mars, während Venus und Merkur, deren Bahnen zwischen Sonne und Erde liegen, nur wenige Daten geliefert haben. Mars, der äußerste unter den vier sonnennahen Planeten, ist von zwei kleinen Monden begleitet; seine mittlere Entfernung von der Sonne beträgt ungefähr 31 Millionen Meilen, ist also um mehr als die Hälfte größer als die der Erde, so daß er nicht ganz halb soviel Licht und Wärme von der Sonne erhält wie diese. Die Bahn ist eine verhältnismäßig sehr exzentrische: sie nähert sich in der Sonnennähe dem Zentralkörper auf 28 Millionen Meilen und steht im entgegengesetzten Falle 33 Millionen Meilen von demselben ab. Der Durchmesser des Mars beträgt 909 Meilen, etwas mehr als die Hälfte von dem der Erde, seine Oberfläche $^3/_{10}$, sein Volumen $^1/_7$, seine Masse $^1/_{10}$ von derjenigen der Erde. Der Umlauf um die Sonne, das Marsjahr, dauert fast 687 Tage, während die Umdrehung um die eigene Achse sich auf 24 Stunden, 37 Minuten und 24 Sekunden beläuft.

Untersuchungen über die Beschaffenheit des Mars sind schon vielfach gemacht worden; namentlich hat Schiaparelli die günstigen Bedingungen, welche sich in den Jahren 1877, 1879, 1882 und 1888 boten, benutzt, um genaue Studien in dieser Richtung zu machen. Wir verdanken dem Mailänder Astronomen äußerst interessante Aufschlüsse über diesen merkwürdigen Planeten (vgl. die beigeheftete Tafel „Die Marshemisphären").

Auf der Oberfläche des Mars findet man hauptsächlich zweierlei Bestandteile, nämlich hellere, gelbe oder rote und dunklere, eisengraue oder schwarze Stellen, welche in ihrer Lage und Begrenzung im allgemeinen keine Veränderungen erleiden. Die ersteren Partien betrachtet man als Festland, die letzteren als Meer. Bei einem Vergleich mit der Erde ergibt sich vor allem, daß das Verhältnis vom Meere zum Festland ein sehr verschiedenes ist, indem das vom Wasser bedeckte Areal auf dem Mars viel geringer ist als bei uns und kaum die Hälfte der ganzen

A.

B.

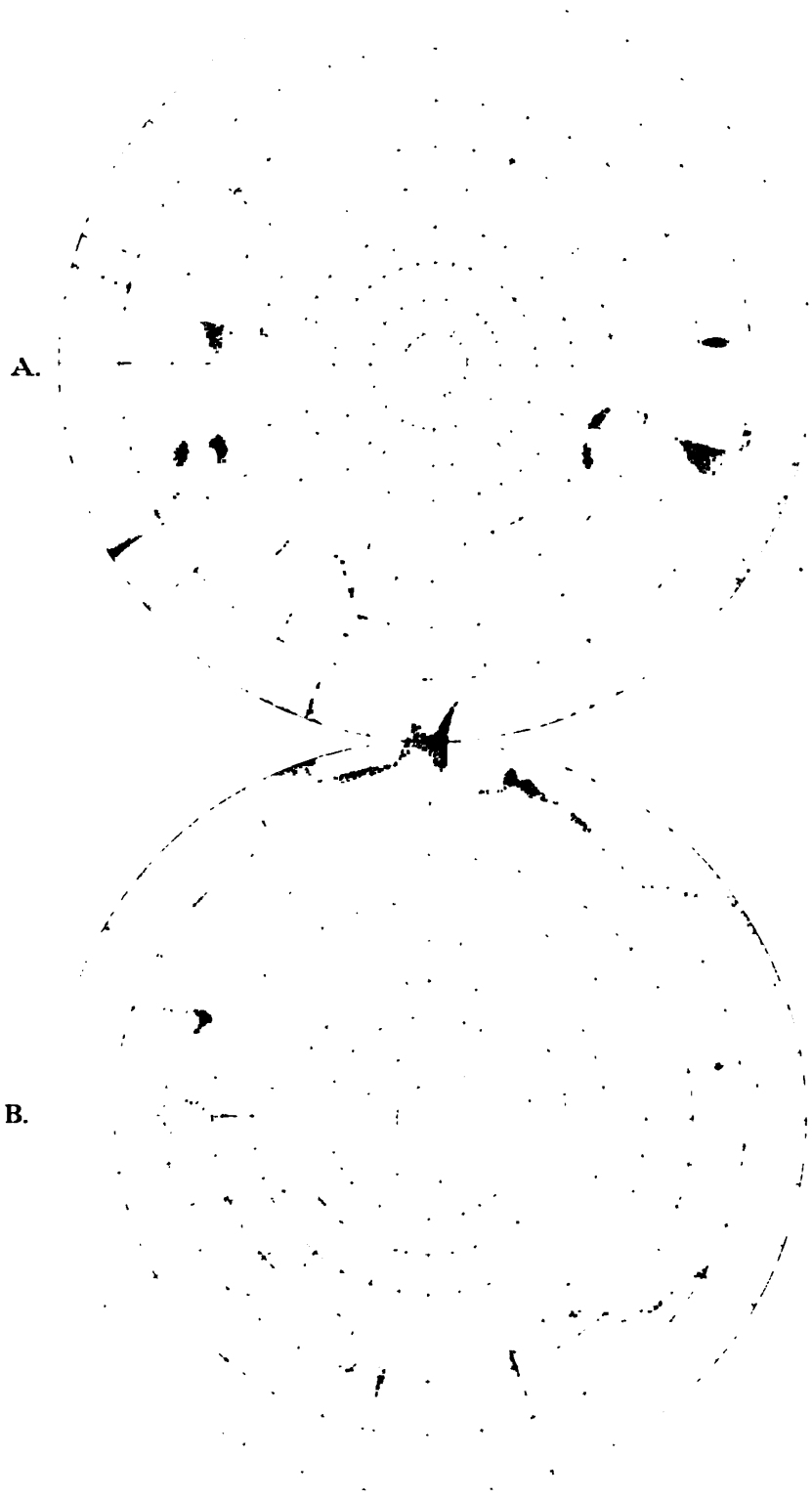
DIE MARSHEMISPHÄREN.

A. Nördliche Hälfte. B. Südliche Hälfte

Die Beobachtungen des [illegible]
prozesses als die bisher [illegible]
dritter und vierter [illegible]
zu gering, um [illegible]
wir weitere [illegible]
deſſen [illegible]
Planeten [illegible]
zu ſein, [illegible]
neben dem [illegible]
Licht ausſtrahlen, [illegible]
ſtand. [illegible]
viel iſt ſicher, [illegible]
ſchon bei der [illegible]
Ringes ge[illegible]
Flecke her[illegible]
bildungen [illegible]
lich erkannt [illegible]
Die [illegible]
Erſ[illegible]
das [illegible]
Über [illegible]
ſonder[illegible]
Von un[illegible]
Gürtels der [illegible]
Merkur, deren [illegible]
Mars, der äußere [illegible]
gleitet; ſeine mittlere [illegible]
um mehr als die Hälfte [illegible]
Wärme von der Sonne [illegible]
ſie nähert ſich in der Sonnen[illegible]
gegengeſetzten Falle 33 Millionen
909 Meilen, etwas mehr als [illegible]
lumen 1/7, ſeine Maſſe [illegible] von [illegible]
jahr, dauert faſt 687 Tage, [illegible]
37 Minuten und 24 Sekunden [illegible]

Unterſuchungen über die [illegible]
mentlich hat Schiaparelli [illegible]
1882 und 1888 boten, benutzt, [illegible]
danken dem Mailänder Aſtron[illegible]
Planeten (vgl. die beigeheftete [illegible]

Auf der Oberfläche des [illegible]
gelbe oder rote und dunklere, [illegible]
zung im allgemeinen keine [illegible]
Feſtlands, [illegible]
das [illegible]
deckte [illegible]

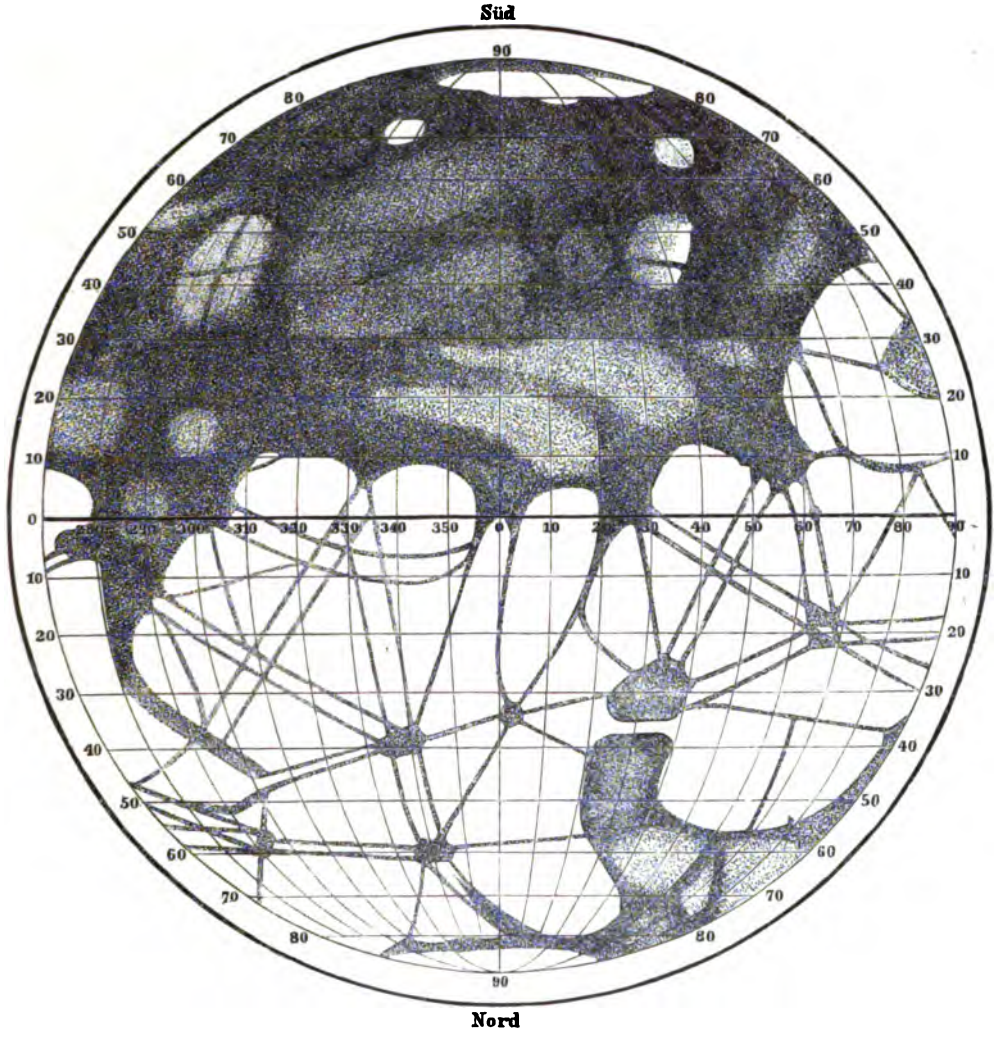


DIE MARSHEMISPHÄREN.

A. Nördliche Hälfte. B. Südliche Hälfte.

Oberfläche einnimmt. Trotzdem gibt es aber keine großen Kontinente auf dem Mars, sondern alles Land besteht aus einer sehr bedeutenden Anzahl ansehnlicher Inseln, die durch Meereskanäle voneinander getrennt werden und namentlich um den Äquator und auf der nördlichen Hemisphäre angehäuft sind, während um den Südpol offeneres Meer vorhanden ist.

Das Meer zeigt von einer Mars-Opposition zur anderen, ja im Laufe desselben Jahres



Verdoppelung der Kanäle auf dem Planeten Mars. (Nach J. B. Schiaparelli.) Vgl. Text, S. 82.

merkliche Farbenänderungen; außerdem enthält es Stellen unbestimmten Charakters, die sich zeitweilig als Festland darstellen, dann wieder als Meer, und welche man als Untiefen betrachtet. Manche von den Flächen, die das Meer verläßt, überziehen sich nach Pickering sehr rasch mit einer grünen Farbe, welche den Eindruck macht, als rühre sie von einer rasch entwickelten Vegetation her. Das merkwürdigste aber sind jedenfalls die schon erwähnten Kanäle, von denen sich einige längs einer Linie ohne jede Unregelmäßigkeit über den vierten Teil des Planetenumfangs erstrecken. Niemals endet ein Kanal blind, sondern es stehen alle untereinander oder mit dem freien Meer oder größeren Seen in Verbindung. Zuweilen wird ein Kanal für längere oder kürzere

Zeit unsichtbar, zu anderen Zeiten kann er das Aussehen eines breiten, verwaschenen Streifens annehmen. Die seltsamste Veränderung der Kanäle besteht aber in deren Verdoppelung, die sich zuweilen in wenigen Tagen, vielleicht Stunden nach einem Umformungsprozeß vollzieht, dessen Einzelheiten uns noch nicht bekannt sind. Statt der einen ursprünglichen laufen nun zwei dunkle Linien nebeneinander her (s. Abbildung, S. 81). Können wir schon die Form der schmalen, langen, schnurgeraden Kanäle unseren irdischen Erfahrungen schwer anpassen, so läßt uns unsere Phantasie hinsichtlich der Verdoppelung der Kanäle vollends im Stiche und wir können uns keine auch nur entfernt befriedigende Vorstellung über das Wesen und die Bedeutung dieser rätselhaften Erscheinung machen.

Außer den gelben und grauen, ihre Gestaltung stets beibehaltenden Stellen bemerkt man auf dem Mars auch völlig weiße Gebiete, die aber nur an den Polen von längerer Dauer sind. Die Veränderungen in der Ausdehnung dieser weißen Flächen stehen in bestimmter Beziehung zu der in der betreffenden Gegend jeweilig herrschenden Jahreszeit. Diese letztere können wir genau ermitteln, da die hierauf bezüglichen Verhältnisse, Lage des Äquators und der Drehungsachse und die Umschwungsdauer für den Mars bekannt sind. Auf der nördlichen Halbkugel herrscht ein milder, kurzer, auf der südlichen ein langer, sehr strenger Winter. Ganz ebenso wie unsere irdischen Polarkalotten wachsen die weißen Polarflecke des Mars zur Winterszeit, schmelzen dagegen in der warmen Jahreszeit stark ab. Die nördliche Polarkappe scheint zentrisch zum Marspol zu liegen, die südliche ist mit ihrem Mittelpunkt etwa $5{,}4^0$ oder 340 km vom Südpol entfernt. In der Zeit des Minimums, 3—6 Monate nach dem Sommersolstiz (dem längsten Tag) ist der Südpol selbst eisfrei. Zeitweilige Schneefelder finden sich auch entfernter von den Polen, selbst bis zum Äquator hin, und es wird angegeben, daß sich solche weiße, unter dem Einfluß der Sonnenbestrahlung meist bald verschwindende Felder dann einstellen, wenn vorher Wolken und Nebelbildungen über dem betreffenden Teil der Marsfläche gelagert waren. Wenn wir nun noch bedenken, daß das Spektroskop in der Marsatmosphäre reichlichen Wasserdampf, das Teleskop Wolken- und Nebelbildungen nachweist, werden wir nicht umhin können, den Schluß, daß auf dem Mars auch Meere vorhanden sein und diese mit den eisengrauen Stellen der Marsoberfläche zusammenfallen müssen, als wohl begründet anzusehen.

Diesen in die Augen springenden Analogien mit den irdischen Verhältnissen stehen bemerkenswerte Abweichungen gegenüber. Daß die großen Kontinente der Erde am Mars durch zahlreiche gedrängte Inseln ersetzt werden und das Meer eine verhältnismäßig geringe Fläche einnimmt, wurde schon bemerkt. Es ist noch hinzuzufügen, daß man wegen der oben erwähnten Untiefen und der großen Veränderlichkeit des Aussehens des Meeres demselben nur eine geringe Tiefe zuschreibt, und noch weitere Differenzen ergeben sich, wenn wir das Relief berücksichtigen: nirgends finden sich Spuren jener energisch hervortretenden Linien, welche die Erde der Anwesenheit ihrer großen Kettengebirge verdankt. Vor allem aber erregt unsere Verwunderung die zuerst von Schiaparelli beobachtete und von den Astronomen der Lick-Sternwarte bestätigte Fülle der topographischen Veränderungen im Festen und Flüssigen, die sich auf der Marsoberfläche alljährlich und oft in rascher Folge vollziehen, und für welche wir uns auf der Erde vergeblich nach einem Vergleichspunkte umsehen.

Ehe wir die Betrachtung des Mars verlassen, drängt sich uns noch eine Frage auf. Wir sehen auf diesem Planeten Wasser und Land, eine Atmosphäre und klimatische Verhältnisse, ganz ähnlich den irdischen: existiert nun dort organisches Leben, grünt frischer Pflanzenwuchs, und regt sich eine tierische Bevölkerung auf dem Mars? Nach dem soeben Gesagten ist es sehr wahrscheinlich, daß die Möglichkeit hierfür gegeben ist; ob aber Organismen wirklich vorhanden sind, dafür hat die Wissenschaft keine bestimmte Antwort. Es widerstrebt uns allerdings, einen

Weltkörper, der für die Aufnahme von Bewohnern geeignet ist, für wüst und öde halten zu sollen. Wer die Entstehung des Lebens der direkten Wirkung eines Schöpfers zuschreibt, wird sich nicht denken können, daß dieser eine Wohnstätte bereite, ohne sie zu bevölkern; wer die Entstehung der Organismen als Produkt selbständiger Urzeugung betrachtet, wird nicht verstehen können, warum das Zusammenwirken derselben Stoffe und Kräfte auf dem Mars nicht dieselbe Wirkung gehabt haben sollte wie auf der Erde. Wir werden es daher als sehr wahrscheinlich ansehen, daß unser Nachbarplanet bewohnt sei; einen Beweis dafür haben wir aber nicht. Dagegen scheint uns die Annahme etwas gewagt, daß auch die Entwickelung der Organismen mit derjenigen der Erde so weit übereinstimme, daß man von Tieren und Pflanzen sprechen kann; es ist im Gegenteil möglich, ja sogar wahrscheinlich, daß dieselben wegen einer ganz eigentümlichen Ausbildung in keines unserer Reiche einzureihen sind. Wenn man sich vollends damit beschäftigt, welche geistigen Fähigkeiten die mutmaßlichen Menschen des Mars besitzen, unter welchen Verhältnissen und sozialen Einrichtungen sie leben, wie das wohl von manchen Seiten geschehen ist, so hören derartige Phantasien auf, wissenschaftliche Beachtung zu verdienen; sie sind ein artiges Spiel, das für Jules Verne einen dankbaren Romanstoff liefern mag, aber nicht mehr.

Beiläufig sei hier noch die Frage nach der Bewohnbarkeit anderer Weltkörper kurz erwähnt; es ist dies ein Problem, welches sich komplizierter darstellt, als es auf den ersten Blick erscheint. Auf der Erde ist das Leben an das Vorkommen gewisser sehr zusammengesetzter Verbindungen des Kohlenstoffs mit Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff 2c. gebunden, vornehmlich an die sogenannten Eiweißstoffe. Diese haben fast alle die Eigentümlichkeit, bei einer Wärme von 70° C., also noch ziemlich weit unter der Siedehitze des Wassers, zu gerinnen; es kann also in der Regel kein Leben existieren, wenn die Temperatur höher ist, obschon einzelne niedere Tiere bei noch etwas größerer Wärme fortkommen sollen; ebensowenig sind die Lebensbedingungen gegeben, wenn die Temperatur bleibend unter dem Gefrierpunkt verharrt. In dem ungeheuern Abstand zwischen der eisigen Kälte des Weltraumes und der furchtbaren Glut der Sonne und der Sterne ist also nur ein verschwindend kleiner Spielraum, innerhalb dessen organisches Leben in unserem Sinne möglich ist. Außerdem müssen Kohlensäure, Wasser, Sauerstoff, Stickstoff in genügender Menge und in gewissen Verhältnissen vorhanden sein; kurzum, es bedarf des Zusammentreffens überaus vieler Bedingungen. Alle Fixsterne mit eigenem Licht sind wegen ihrer hohen Temperatur von vornherein ausgeschlossen, ebenso die Nebelflecke, während die Kometen außer den Zeiten ihrer Sonnennähe viel zu wenig Wärme erhalten. Unter allen uns sichtbaren Himmelskörpern können also nur die Planeten Organismen enthalten, unter ihnen haben aber wohl Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun eine zu hohe eigene Temperatur; die Asteroiden und Monde haben teils keine oder nur Spuren einer Atmosphäre, teils sind sie zu weit von der Sonne entfernt, um von ihr die erforderliche Wärmemenge zu erhalten. Für Mars und vermutlich auch für Venus, die von der Sonne etwa doppelt soviel Wärme erhält wie die Erde, dürfen wir die Möglichkeit der Existenz von Organismen annehmen, während auf dem Merkur nur kleine Teile der Oberfläche den Bedingungen der Bewohnbarkeit entsprechen dürften.

Unter der ungeheuern Menge der uns sichtbaren Himmelskörper sind es also nur zwei, höchstens drei, welche möglicherweise organisches Leben, wie wir es auf der Erde kennen, auf ihrer Oberfläche beherbergen. Da aber vermutlich auch die Fixsterne zum großen Teil von Planeten umgeben sind, so ist es sehr wohl möglich, daß sich unter diesen eine Menge von Körpern findet, welche dieselben Bedingungen bieten. Wir haben bisher angenommen, daß die Existenz des Lebens an das Vorhandensein von Eiweißstoffen gebunden sei, und haben auch keinen positiven Anhaltspunkt, davon abzugehen; immerhin aber wäre die Hypothese nicht absurd, daß unter uns unbekannten Temperaturverhältnissen andere Grundstoffe dem Eiweiß analoge Verbindungen

bilden, welche das Substrat für verwickelte chemische und physikalische Prozesse abgeben könnten, jenen ähnlich, die wir an Tieren und Pflanzen beobachten und als „Leben" bezeichnen. Wiewohl eine solche Vermutung nicht in den Bereich der Unmöglichkeit gehört, kann sie doch auch keine Grundlage für weitere Schlüsse abgeben.

Der Mond.

Als letztes Glied in der Reihe der Himmelskörper, die mit der Erde verglichen werden sollen, mag der Mond betrachtet werden; die verhältnismäßig große Nähe unseres Trabanten hat äußerst genaue Untersuchungen seiner Oberfläche gestattet, deren Ergebnisse in Karten niedergelegt sind. Wenn wir z. B. die riesige Mondkarte betrachten, welche Julius Schmidt in Athen als Resultat langjähriger Arbeiten veröffentlicht hat, so können wir uns der Einsicht nicht verschließen, daß wir mit der Topographie des größeren Teils unserer irdischen Kontinente bei weitem nicht so vertraut sind wie mit derjenigen der uns allein sichtbaren Seite unseres Satelliten. Für die Beurteilung der irdischen Verhältnisse sind leider diese sonst sehr wichtigen Untersuchungen von verhältnismäßig geringer Bedeutung, da die Beschaffenheit des Mondes von jener der Erde so verschieden ist, daß eine Parallele zwischen beiden nur ganz unsichere Ergebnisse liefert.

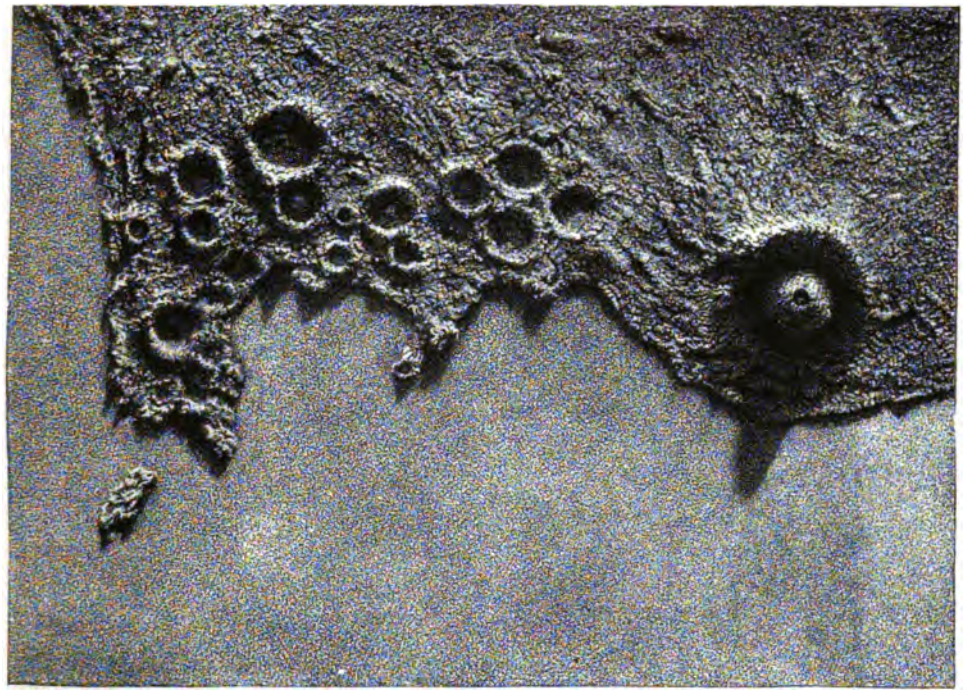
Drei Erscheinungen sind es namentlich, welche dem Monde eine überaus seltsame, fremdartige Physiognomie verleihen: das Fehlen einer Atmosphäre, das Nichtvorhandensein von Wasser an der Oberfläche und das Vorherrschen kraterförmiger Ringgebirge in der Oberflächengestaltung. Der Mangel von Luft und Wasser, der aus dem Fehlen einer Dämmerung auf dem Monde, aus der Beobachtung von Fixsternen, die hinter dem Monde vorübergehen, und manchen anderen Umständen hervorgeht, hat zu sehr weitgehenden Schlüssen über die Zukunft der Erde Anlaß gegeben. Der Mond als viel kleinerer Weltkörper befindet sich in einem viel weiteren Stadium der Entwickelung, er soll uns ein Spiegelbild des Zustandes geben, der unserem Planeten bevorsteht: auch unsere Wohnstätte wird einst ohne Leben, Luft und Wasser, als erstarrte Ruine um die Sonne kreisen. Wir werden unten Gelegenheit haben, den Wert dieser Vorhersagung zu prüfen.

Kaum minder auffallend müssen die Reliefformen des Mondes erscheinen, die wir hier allerdings nur in flüchtigster Weise betrachten können; die Gebirge sind im Verhältnis zu der geringen Größe des Gestirns von außerordentlicher Höhe, indem sich einzelne derselben mehr als 8000 m über ihre Umgebung erheben. Weitaus am verbreitetsten sind ringförmige Berge, welche in ihrer ganzen Bildung in der auffallendsten Weise an unsere irdischen Vulkane erinnern, und man nimmt in der Regel an, daß diese Gebilde in der That auf eruptive Thätigkeit zurückzuführen seien. Immerhin sind die Verhältnisse auf dem Monde so eigentümliche, und das Fehlen von Luft und Wasserdampf, die auf der Erde bei den vulkanischen Erscheinungen so wesentlich beteiligt sind, bildet einen so gewaltigen Unterschied, daß man in allen diesen Folgerungen sehr vorsichtig sein muß. In der That sind auch mehrere andere Hypothesen über die Entstehung der Mondgebirge aufgestellt worden, doch vermögen auch diese nicht alle Eigentümlichkeiten der Mondoberfläche befriedigend zu erklären.

Daß die äußere Ähnlichkeit zwischen den Ringwällen des Mondes und den Vulkanen der Erde wirklich eine sehr große ist, zeigt ein Vergleich der beiden Abbildungen, S. 85 und 86; die eine stellt eine kleine Partie der Mondoberfläche, die andere die Umgebung von Neapel dar mit Vesuv und Monte Somma, mit den zahlreichen Kratern der Phlegräischen Felder, dem Astroni, dem Monte Nuovo, der Solfatara, dem Averner und Lucriner See ꝛc. Diese Abbildung ist so

gehalten, wie die Gegend, von einem fremden Himmelskörper aus gesehen, bei Sonnenbeleuchtung erscheinen würde, wenn die Erde keine Atmosphäre hätte, d. h. unter den Verhältnissen, unter denen wir den Mond sehen. Noch größer ist übrigens die Ähnlichkeit der Ringgebirge des Mondes mit den weiten, offenen Kratern der Basaltvulkane von Hawai im Stillen Ozean.

Die Größe der Mondkrater ist sehr verschieden; von gewaltigen Ringen mit Durchmessern von 12 und mehr Meilen finden sich alle möglichen Übergänge bis zu den kleinsten Formen, die mit den besten Instrumenten kaum mehr zu sehen sind. Die Zahl der sichtbaren Ringberge beläuft sich auf der uns zugekehrten Seite des Mondes nach J. Schmidt auf fast 35,000, doch



Der Vesuv und die Phlegräischen Felder bei Neapel, als Mondlandschaft gezeichnet.
(Nach Nasmyth und Carpenter.) Vgl. Text, S. 84.

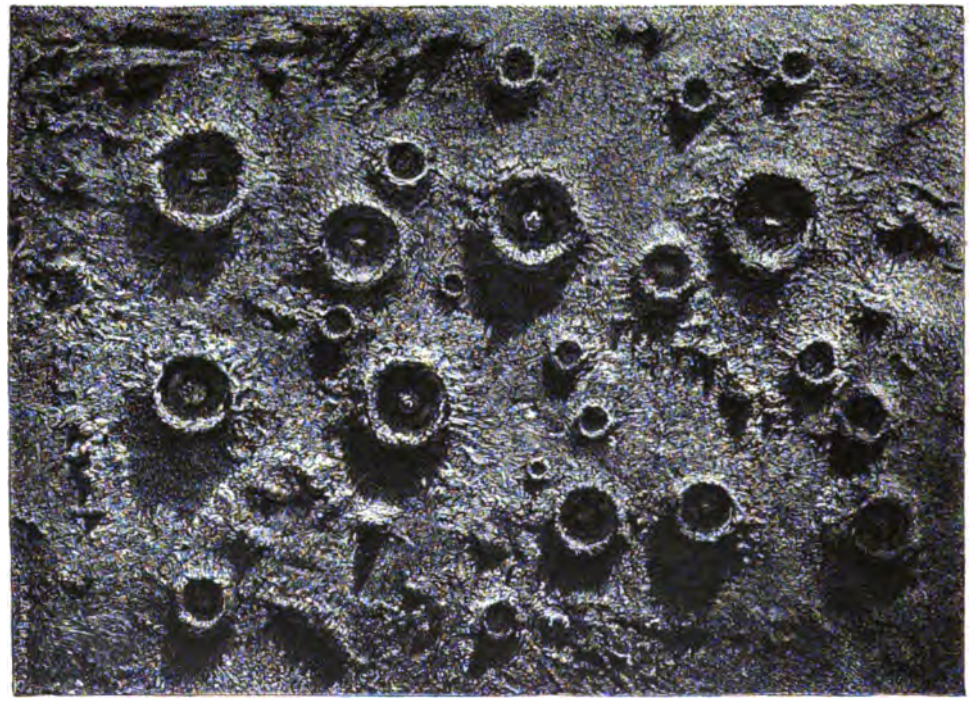
meint dieser vorzügliche, nun schon verstorbene Kenner des Mondes, daß man mit unseren besten Fernrohren auf unserem Trabanten etwa 100,000 Krater zählen könne. Von manchen Ringgebirgen, namentlich Copernicus, Kepler, Tycho, gehen helle Strahlen weit in die dunkle Ebene hinaus, welche weder Erhöhungen noch Vertiefungen entsprechen, sondern sich nur durch eine größere Fähigkeit, das Sonnenlicht zu reflektieren, von ihrer Umgebung unterscheiden. Sie sind gleichzeitig mit den Ringgebirgen entstanden.

Langgestreckte Höhenzüge, die unseren irdischen Gebirgsketten entsprechen, treten in weit geringerer Zahl auf, doch ist daran immerhin kein Mangel; der bedeutendste derselben, welcher den Namen der Apenninen erhalten hat (s. Abbildung, S. 87), besitzt eine Reihe besonders hoher Gipfel. In den sogenannten Rillen, meist geradlinigen, bis zu 25 Meilen langen und 100—400 m tiefen Furchen, können wir vielleicht etwas vermuten, was den Spaltenbildungen und Brüchen auf der Erde analog ist; andere Erscheinungen am Monde, wie die sogenannten Meere, weite kreisförmige, dunkle Flächen, die ebenfalls von Wällen umgeben sind, ferner die hellen, radialen Strahlen, haben so durchaus abweichenden Charakter, daß wir sie mit keinem irdischen Gebilde

vergleichen können. In neuerer Zeit hat L. Weinek durch die sorgfältige Untersuchung der von den Astronomen der Lick-Sternwarte aufgenommenen photographischen Diapositive außerordentlich mehr und feineres Detail auf der Mondoberfläche nachgewiesen, als bisher bekannt war, unter anderem auch gewundene, für Rillen erklärte Linien, welche eine gewisse äußere Ähnlichkeit mit Flußläufen haben. Wir dürfen von der Fortsetzung dieser Studien noch manche wichtige Aufklärungen über die Beschaffenheit des Mondes erwarten.

Vergangenheit und Zukunft der Erde.

Wir haben eine Reihe von Himmelskörpern betrachtet, welche sich in den verschiedensten Stadien befanden, vom losen, glühenden Gasball der Nebelflecke bis zum Monde, der erstarrt



Mondlandschaft mit zahlreichen mittelgroßen und kleinen Ringbergen. (Nach Nasmyth und Carpenter.) Vgl. Text, S. 84.

und ohne Atmosphäre den Abschluß seiner Entwickelung gefunden zu haben scheint. Diese lange Abschweifung auf astronomisches Gebiet geschah in erster Linie, um die großartige Übereinstimmung zu zeigen, welche über das ganze Weltall in den Grundzügen der Bildungsvorgänge herrscht; wohin sich unser Auge in dem endlosen Raume richtet, weist alle Beobachtung auf wesentliche Gleichheit in den großen Hauptpunkten hin, und wir besitzen darin ein unabweisbares Zeugnis, daß auch unser Planet sich in derselben Weise entwickelt hat. Wir erhalten dadurch das sichere Ergebnis, daß die Erde einst in heißflüssigem, geschmolzenem Zustande war, und daß das Innere derselben noch einen mächtigen Wärmeschatz enthalten muß. Wohl haben sich zu verschiedenen Zeiten manche Forscher abgemüht, einer anderen Auffassung Geltung zu verschaffen, den Ursprung der Erde durch Erstarrung ursprünglich flüssiger Massen und das Vorhandensein hoher innerer Erdwärme in Frage zu stellen; allein alle diese Versuche scheitern

an der Einsicht in die Verhältnisse der Sternenwelt, um so mehr, als auch die Beobachtung der irdischen Vorgänge ihnen wenig günstig ist. Dadurch erhalten wir sicheren Boden für die Beurteilung der wichtigsten geologischen Fragen, für die Deutung der Vulkane, der Erdbeben, der

Mondlandschaft mit den Apenninen, dem Krater Archimedes ꝛc. (Nach Nasmyth und Carpenter.)
Vgl. Text, S. 85.

Gebirgsbildung. In zweiter Linie mögen sich an die gewonnenen Ergebnisse einige Ausblicke in die Zukunft der Erde öffnen, obwohl es sich hier bei der großen Unsicherheit des Bodens, auf dem sich alle Hypothesen erheben, nur um eine strenge Beurteilung der verschiedenen sehr verbreiteten Ansichten, nicht um die Aufstellung irgend einer bestimmten Meinung handeln kann.

Die Vergangenheit unserer Erde ergibt sich aus dem Gesagten, wenigstens in den großen Hauptzügen, fast von selbst; anfangs ein Teil eines rotierenden Nebelfleckes, sonderte sie sich bei fortschreitender Zusammenziehung und Abkühlung von der zentralen Masse ab und begann ihre Umdrehung um die Sonne und um ihre eigene Achse. Sie durchlief die Stadien eines im Vergleich zu den Fixsternen allerdings verschwindend kleinen weißen, später gelben Sternes, Flecke, ähnlich den Sonnenflecken, erschienen und mehrten sich, und unser Planet trat, vermutlich unter Annahme roter Farbe, in die Periode der veränderlichen Leuchtkraft ein; vielleicht wurde auch ein Stadium durchlaufen, ähnlich, wie es der Jupiter zeigt, in welchem die Oberfläche eine streifige Beschaffenheit und die Masse eine teigige Konsistenz erhielt. Endlich war die ganze Oberfläche so weit abgekühlt, daß auch die letzten Spuren selbständigen Leuchtens aufhörten, und die Temperatur so weit ermäßigt, daß Wasser auf der Oberfläche in flüssiger Form bestehen und organisches Leben sich entwickeln konnte.

Weit schwieriger ist die Beurteilung der Zukunft der Erde. Wohl die Mehrzahl der Geologen und Astronomen, welche sich mit derartigen Spekulationen befaßt haben, setzen voraus, daß in gegebener Zeit eine langsam, aber stetig fortschreitende Einsaugung der Hydro- und Atmosphäre der Erde werde eintreten müssen. Diesem Umstand wird der bestimmende Einfluß auf die künftige Gestaltung der Dinge auf der Erde zugewiesen. Wenn wir nun in dieser Beziehung auf der Erde Umschau halten, so sehen wir, daß in der That schon jetzt beträchtliche Wassermengen in die Tiefe dringen. Wo immer Steinbrüche, Bergwerke ꝛc. die Gesteine aufschließen, findet man die letzteren stets von Feuchtigkeit durchdrungen; ferner enthalten sehr viele Gesteine einiges Wasser chemisch gebunden. Ist die Erde in einem allmählichen und fortwährenden Abkühlungsprozeß begriffen, so werden immer neue Gesteinsmassen befähigt, Wasser in sich aufzunehmen, und dem Wasservorrat der Erdoberfläche wird damit ununterbrochen ein gewisser Betrag entzogen; nun scheint allerdings dieser Verlust außerordentlich gering, allein eine genaue Berechnung ergibt, daß diese Geringfügigkeit nur für den Augenblick besteht, daß aber auf die Dauer die Menge des Wassers, welche im Verlauf langer Zeiträume gebunden werden müßte, eine überaus große ist und der Erdkörper daher in der That befähigt scheint, die ganzen Meere allmählich einzusaugen. Alles Wasser des Ozeans würde, ganz abgesehen von der Bildung wasserhaltiger chemischer Verbindungen, nicht ausreichen, um die ganze Masse des Erdballs mit „Bergfeuchtigkeit" zu durchtränken.

Ähnlich ergeht es den Gasen der Atmosphäre; bei der Verwitterung zahlreicher Gesteine entstehen Kohlensäureverbindungen, kohlensaurer Kalk, kohlensaure Magnesia, kohlensaures Eisenoxydul, und überall in der Natur finden wir ungeheure Massen von Kalkstein und Dolomit, welche ihren hohen Gehalt an Kohlensäure der Atmosphäre entzogen haben müssen; Mollusken, Korallen, Seeigel und andere Tiere bauen ihre Gehäuse aus kohlensaurem Kalk. Endlich absorbiert die Vegetation große Massen von Kohlensäure, die durchaus nicht gänzlich durch Verwesung wieder frei wird, sondern zu einem beträchtlichen Teil als Torf, Braunkohle, Steinkohle ꝛc. in der Erde gebunden bleibt. Den Sauerstoff der Luft nehmen Eisen und Eisenoxydul an sich, so daß zum Schlusse nur der Stickstoff übrigbleiben würde.

Allein bei dieser Spekulation wird zumeist eine Thatsache von einschneidender Bedeutung gänzlich außer acht gelassen, nämlich die, daß gegenwärtig durch Zuflüsse aus dem Erdinneren ersetzt wird, was der Hydro- und Atmosphäre durch den beschriebenen Vorgang entgeht. In allen vulkanischen Distrikten werden ungeheure Mengen von Wasserdampf, Kohlensäure und anderen Gasen teils von den Kratern ausgestoßen, teils entwickeln sie sich aus Lavaströmen. Oft entweichen sie aus den letzteren so massenhaft und stürmisch, daß sie Lavastücke mit in die Höhe reißen, aus welchen sich im Niederfallen kleine Schlackenkegel aufbauen (s. Abbildung, S. 89). Selbst in

erloschenen Vulkangebieten finden noch lange Zeit derartige Aushauchungen statt. Auch außerhalb der vulkanischen Bezirke treten an zahllosen Punkten heiße und kalte Quellen auf, die namentlich Kohlensäure in großen Mengen enthalten. Als Beispiel hierfür wollen wir nur erwähnen, daß die aus einem Bohrloch bei Neusalzwerk strömende Quelle jährlich etwa 140,000 Kilogramm Kohlensäure liefert. Das gegenseitige Mengenverhältnis von Zuschuß zu Entgang vermögen wir freilich nicht zu berechnen, wir können auch nicht entscheiden, ob das freie Wasser an der Oberfläche der Erde, der Sauerstoff und die Kohlensäure der Luft sich vermehren oder vermindern, wir können es aber als sehr wahrscheinlich bezeichnen, daß die in der Atmosphäre enthaltene Kohlensäuremenge in wenigen Jahrtausenden verbraucht wäre, wenn sich dieser Stoff nicht fortwährend aus dem Inneren der Erde erneuerte; Vulkane, Mofetten und Quellen, welche Kohlensäure ausströmen, sind darum die Erhalter des organischen Lebens auf der Erde.

Unter diesen Verhältnissen drängt sich zunächst die Frage auf, wie lange wohl das Spiel der vulkanischen Kräfte auf der Erde anhalten wird. Eine Abnahme des Vulkanismus in der Gegenwart im Verhältnis zu früheren Perioden der Erdentwickelung ist gewiß nicht zu bemerken; ziffernmäßige Angaben über die Zeit, in welcher sich ein Rückgang oder Stillstand einstellen könnte, liegen vollends ganz außer dem Bereich unserer Beurteilung. Dagegen können wir behaupten, daß der Vulkanismus und die Erhebung der Gebirge im Zusammenhang stehen mit der Zusammenziehung der Erdrinde infolge fortschreitender Abkühlung. Wir können uns ganz gut vorstellen, daß die Erdrinde einstens in einer unendlich fernen Zukunft eine solche Mächtigkeit annehmen wird, daß durch diesen starren Panzer weder vulkanisches Magma nach außen dringen, noch auch eine Faltung und Erhebung von Gebirgen eintreten kann. Von diesem Zeitpunkt ab würde für jene oben beschriebene Vernichtung des Wassers und der Atmosphäre kein Ersatz mehr gegeben sein, der Ozean würde eine allmähliche Verringerung erfahren müssen, und gleichzeitig würden die Gebirge durch die Erosion und Denudation, d. h. durch die Wirkung des Regens, des Frostes, des rinnenden Wassers und der Brandung, welche unaufhaltsam an der Zerstörung der Gebirge arbeiten, immer niedriger gemacht und schließlich bis zum Niveau des Ozeans eingeebnet werden.

Schlackenkegel eines Lavastromes am Vesuv (1852). Vgl. Text, S. 88.

Für dieses Stadium der Entwickelung bietet uns allem Anschein nach, wenn die Beobachtungen der Astronomen nicht trügen, unser Nachbarplanet Mars einige Analogien. Daß sich dieser in einem weiter vorgeschrittenen Entwickelungsstadium befindet als die Erde, ist wohl begreiflich, denn er ist viel kleiner und zugleich weiter von der Sonne entfernt als unser Planet. Wenn wir nun im stande sind, auf dem Mars eine dünnere Atmosphäre nachzuweisen und gleichzeitig finden, daß die Wassermenge desselben im Verhältnis zur Erde eine sehr geringe ist, die Landmassen aber sich flach, wie eingeebnet darstellen und energisch ausgesprochener Gebirgszüge gänzlich bar sind, dann werden wir den Eindruck schwer abwehren können, daß Mars ein Stadium der Entwickelung darstellt, welchem die Erde in ferner, ferner Zukunft entgegengeht.

Es darf allerdings nicht vergessen werden, daß wir dieses Zukunftsbild nur mit großer Reserve aufrollen dürfen. Noch werden manche fundamentale Deutungen der Marsoberfläche bestritten, und es ist auch zu bedenken, daß wir vielleicht eine unrichtige Hypothese aufstellen, wenn wir die Verhältnisse der Erde und des Mars von allem Anfang an als ungefähr gleich betrachten.

Vielleicht hatte der Mars seit jeher eine geringere Wassermenge und eine dünnere Atmosphäre. Wir brauchen nur an den Mond und die größeren Asteroiden zu denken; die letzteren sind nach Vogel mit einer Atmosphäre ausgestattet, während der Mond keine Spur davon erkennen läßt. Da der größte der Asteroiden, Vesta, nur einen Durchmesser von 50 geographischen Meilen besitzt, sollte man meinen, er hätte seine Atmosphäre schon längst und in einer viel früheren Zeit verloren als der mehr als neunmal so große Mond, was aber doch nicht der Fall ist. So bleibt wohl nichts anderes übrig, als zwischen den einzelnen Gliedern des Planetensystems die Existenz von ursprünglichen Unterschieden in der auf ihnen vorhandenen Menge von atmosphärischen Gasen und Wasser anzunehmen.

Nach Durchschreiten des marsähnlichen Zustandes würde die Erde unseren Voraussetzungen gemäß unaufhaltsam dem völligen Ersterben entgegengehen. Für diese Periode pflegt man auf den Mond hinzuweisen, der uns zeigen soll, wie sich die letzte Phase der Erde gestalten wird. Dieser Vergleich erscheint uns aber wenig ersprießlich. Der Mond bietet allerdings das Bild eines erstarrten, unbelebten Weltkörpers, aber er zeigt eine solche Fülle bisher unaufgeklärter Eigentümlichkeiten, und er ist von der Erde so gründlich verschieden, daß ein wesentlicher Nutzen für das Verständnis der letzteren aus einer Parallele zwischen beiden sich kaum ergeben dürfte. Es wurde auch von Einzelnen hervorgehoben, daß der Mond nicht über die Zukunft, sondern vielmehr über eine vergangene Periode der Erdgeschichte aufzuklären geeignet sei, nämlich über das Stadium der ersten Krustenbildung. Da wir über die erste Erstarrungskruste der Erde gar nichts wissen, wäre eine Aufhellung, wenn auch nur auf dem Wege der Analogie, für uns von großem Werte. Aber auch diese Idee ist nicht genügend begründet. Die ersten Erstarrungsvorgänge müssen sich anders gestalten bei einem Weltkörper wie die Erde, dessen Magma überreich ist an absorbierten Gasen und Dämpfen, und wieder anders bei gasarmem Magma, wie dem des Mondes. Ein Schluß von letzterem auf die Erde wird daher unter allen Umständen mit großer Vorsicht aufzunehmen sein.

Welches Schicksal den Organismen der Erde bevorsteht: ob sie durch das Verschwinden von Wasser, Sauerstoff und Kohlensäure in fernen Zeiten einst untergehen müssen, wissen wir nicht bestimmt; es ist dies immer nur die Annahme eines bloß möglichen Falles. Ebensowenig können wir mit Sicherheit sagen, daß das Ende der Organismen einst durch Kälte eintreten werde, wenn die Sonne ihre Wärme verloren haben wird, denn wir wissen durchaus nicht, ob die Sonne bis zu dem Grade, welcher das Leben auf der Erde unmöglich machen würde, abgekühlt sein wird, ehe der Merkur auf den Zentralkörper fällt und diesen zu erneuter Glut anfacht; vielleicht wird dadurch das Leben auf der Erde so lange gefristet, bis es beim Sturze der Venus durch Hitze zu Grunde geht; vielleicht wird es aber schon vor diesen Ereignissen längst erstorben sein. Wir sind hier etwas näher auf die Möglichkeiten eingegangen, welche sich für die Zukunft unserer Erde ergeben, nicht um uns in leere Vermutungen zu stürzen, sondern um zu zeigen, daß unser Wissen noch nicht weit genug fortgeschritten ist, um eine Hypothese zu gestatten. Nur das eine wissen wir, daß das Leben auf der Erde nicht ewig dauern, sondern einst zu Grunde gehen wird, daß aber noch ungeheure Zeiträume verfließen müssen, ehe dieser Untergang sich vollzieht.

Die Meteoriten.

Waren wir bei den Fixsternen und Planeten auf die Untersuchung durch das Teleskop angewiesen, so ist uns eine unmittelbare chemische und physikalische Prüfung an jenen Gebilden vergönnt, welche aus den Welträumen auf die Oberfläche der Erde niederstürzen, an den

Meteoriten oder Aerolithen. Diese merkwürdigen Ankömmlinge können wir der chemischen Analyse unterwerfen, Dünnschliffe von ihnen unter dem Mikroskop beobachten, sie mit den irdischen Mineralien und Gesteinen vergleichen und ihnen auf diese Weise eine Reihe der wichtigsten Aufschlüsse über die schwierigen Fragen entnehmen, die wir hier besprechen.

Die Erscheinungen beim Falle der Meteoriten sind oft gesehen worden; da aber wissenschaftliche Beobachter nur höchst selten in unmittelbarer Nähe waren, da ferner die Kürze der Dauer und die Überraschung eine richtige Beurteilung erschweren und die erhitzte Phantasie das ungewöhnliche Ereignis oft genug ausschmückt und entstellt, so ist es eine sehr schwierige Aufgabe, den richtigen Sachverhalt in den einzelnen Fällen festzustellen. In der Regel sieht man über weite Strecken hin eine glänzende Feuerkugel ziehen, die einen leuchtenden, meist längere Zeit hindurch sichtbaren Schweif zurückläßt; in der Nähe des Ortes, an welchem der Meteorit fällt, ist oft von einer Lichterscheinung nichts zu sehen, indem dieselbe von einem Wölkchen umgeben und verdeckt ist. Den Schluß der Bahn bezeichnet eine gewaltige Detonation, an die sich ein längeres Rollen mit schwächeren Schlägen anzuschließen pflegt, das Meteor scheint zu platzen, und nun erfolgt der Niedersturz eines oder mehrerer Steine, welche glühend heiß oder auch ohne merklich erhöhte Temperatur die Erde erreichen und sich bald in den Boden einwühlen, bald an der Oberfläche liegen bleiben. Die geschilderten Umstände treten nicht immer in derselben Weise, nicht immer in dieser Gemeinsamkeit auf, doch würde es zu weit führen, wenn wir die Einzelheiten ausführlich beschreiben wollten; nur das sei bemerkt, daß Wolkenbedeckung des Himmels, Regen, Sturm und ähnliche Begleiterscheinungen, die bisweilen erwähnt werden, mit dem Falle der Aerolithen nichts zu thun haben; sie können zufällig zu derselben Zeit eintreten, stehen aber in keinem ursächlichen Zusammenhang damit.

Als Beispiel mag hier ein kurzer Bericht über den Meteoritenfall von Hraschina bei Agram vom 26. Mai 1751 folgen; derselbe erregte großes Aufsehen, selbst die Kaiserin Maria Theresia interessierte sich für die Sache, und in ihrem Auftrag ließ der Bischof von Agram an Ort und Stelle Zeugen vereidigen und ein Protokoll aufnehmen. Am genannten Tage um 6 Uhr abends sah man von Osten her ein glänzendes Meteor ziehen, das unter furchtbarem Knalle zersprang, dann folgte ein länger dauerndes Rasseln und Brausen, und es fielen zwei Steinstücke zur Erde, während das Meteor einen rauchähnlichen Streifen auf seiner Bahn zurückließ. Von den zwei Stücken war das größere „drei Ellbogen tief" in die Erde eines frisch geackerten Feldes eingedrungen; beide wurden nach Wien geschickt, das kleinere ist verschollen, das größere dagegen wird als eins der wertvollsten Exemplare in der berühmten Meteoritensammlung des Hofmineralienkabinetts in Wien aufbewahrt. Der Steinfall von Hraschina gehört aus mehrfachen Gründen zu den interessantesten; zunächst, weil er einer der ältesten ist, von welchen ein genauer, urkundlich gut beglaubigter Bericht vorliegt, ferner, weil der Meteorit selbst erhalten ist (vgl. Abbildung, S. 92), und endlich, weil an diesem einer der eigentümlichsten Charaktere, der fast allen Meteoreisenmassen zukommt, das Auftreten der bald näher zu besprechenden „Widmanstättenschen Figuren", zuerst beobachtet wurde.

Wir fügen noch einen zweiten Bericht über einen Aerolithenfall bei, welcher sich am 26. April 1803 bei L'Aigle in der Normandie ereignete, und der in der Geschichte der Wissenschaft darum von Wichtigkeit ist, weil durch die über dieses Ereignis von dem berühmten Physiker Biot angestellten Untersuchungen endgültig die Zweifel zerstreut wurden, welche manche Gelehrte noch gegen das wirkliche Vorkommen von Meteoriten hegten. Bei heiterem Himmel sah man zu Caen, Falaise, Pont Audemer, Verneuil und Alençon, also in weit voneinander entfernten Gegenden, eine Feuerkugel, die sich rasch von Südosten nach Nordwesten bewegte; einige Augenblicke darauf hörte man in der Gegend von L'Aigle, in einem Bezirk von etwa 30 französischen Meilen im

Durchmesser, eine starke Explosion, die 5—6 Minuten dauerte und einigen Kanonenschüssen, darauf folgendem Kleingewehrfeuer und einem schrecklichen, wie von vielen Trommeln herrührenden Getöse ähnlich gefunden wurde. Das Meteor erschien dort nicht als Feuerkugel, sondern (wie mehrmals, z. B. bei Siena 1794, bei Knyahinya in Ungarn 1866, infolge von Verdeckung durch den ausbrechenden Rauch) als ein kleines Wölkchen, welches ungefähr die Gestalt eines Rechtecks hatte, dessen größere Seite von Osten nach Westen gestellt war. Dieses Wölkchen schien stillzustehen (weil die Bewegung ganz gerade nach dem Zuschauer hin ging), nur einige Teile von den Dämpfen, aus denen es bestand, entfernten sich durch die aufeinander folgenden Explosionen nach allen Richtungen; es schien etwa 1/2 Meile gegen Nordwesten von L'Aigle entfernt zu sein und muß sich in

Der 39,2 kg schwere Meteorit vom Meteoritenfalle bei Hraschina. Vgl. Text, S. 91.

beträchtlicher Höhe befunden haben, da die Einwohner von zwei Ortschaften, die über eine französische Meile auseinander liegen, es zu gleicher Zeit senkrecht über sich zu sehen glaubten. In der ganzen Gegend, über welcher das Wölkchen stand, hörte man ein Zischen wie von Steinen, die aus einer Schleuder geworfen werden, worauf eine große Menge von Meteorsteinen (etwa 3000) niederfiel. Die Gegend, über welche die Steine verteilt gefunden wurden, bildet eine elliptische Fläche von ungefähr 2 1/2 Meilen Länge und 1 Meile Breite. Die größten Steine sind am südöstlichen Ende der Ellipse gesammelt worden, die kleinsten am nordwestlichsten, die von mittleren Dimensionen in der Mitte; übrigens erreichte trotz der riesigen Menge der Stücke keines eine sehr bedeutende Masse, nur eins wies ein Gewicht von 17 1/2 Pfund auf, während der kleinste der aufgefundenen Steine nur 2 Quentchen wog.

Ereignisse wie die geschilderten müssen in bewohnten Gegenden von einer Menge von Personen beobachtet werden und allgemeines Aufsehen erregen. Es ist daher natürlich, daß schon aus

sehr alter Zeit Nachrichten über solche vorliegen, zumal da der Aberglaube stets geneigt ist, außergewöhnlichen Erscheinungen eine übernatürliche Bedeutung zuzuschreiben.

Die ältesten unzweideutigen Nachrichten verdanken wir den Chroniken der Chinesen, welche jedes Vorkommnis mit peinlicher Genauigkeit verzeichnen; der erste Fall wird von ihnen aus dem Jahre 694 v. Chr. angegeben, und von diesem Zeitpunkt an bis 333 n. Chr. hat Biot nach dem „Ma-tuan-lin" deren 16 aufgezählt. Die Berichte aus dem klassischen Altertum sind, wenigstens was die früheren Zeiten betrifft, bei weitem nicht so sicher. Die Deutung, welche man einzelnen Stellen bei Homer in dieser Hinsicht hat geben wollen, ist sehr zweifelhaft, und auch die weit bestimmter lautenden Nachrichten über Steine, die zur Zeit des Eteokles, des Sohnes des Ödipus, zu Orchomenos in Böotien vom Himmel gefallen sein sollen, sind ziemlich unsicher. Die erste unzweifelhafte Nachricht aus griechischen Schriftstellern erhalten wir aus dem Jahre 465 vor unserer Zeitrechnung über einen Aerolithen, der bei Ägospotamos am Hellespont in der Nähe des heutigen Gallipoli an jenem Orte fiel, an welchem später die letzte Entscheidungsschlacht des Peleponnesischen Krieges geschlagen wurde. Von da an bringen die griechischen und römischen Schriftsteller bisweilen Nachrichten über Aerolithenfälle. In Rom soll schon in alter Zeit, unter Numa Pompilius, das Ancile, eine schildförmige Metallmasse, vom Himmel gefallen sein, ein Aerolith, welcher als eine Art von Talisman betrachtet wurde, wie auch anderwärts Steine, denen man einen ähnlichen Ursprung nachrühmte, in Tempeln als Gegenstände der Verehrung aufbewahrt wurden; so auf Kreta, in Theben, Ephesos, zu Pessinus in Phrygien und an anderen Orten. Weitaus das größte Ansehen erwarb sich der 2 m hohe, Hadschar el Aswad genannte schwarze Stein, welcher in der südlichen Ecke der Kaaba zu Mekka eingemauert ist; Millionen von Menschen verehren ihn noch heute.

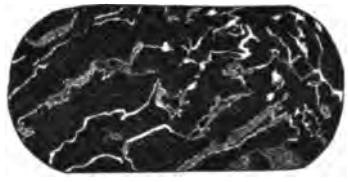
Besondere Kraft und Bedeutung wurde begreiflicherweise dem meteorischen Eisen beigemessen; dem Metall, das vom Himmel kam, das ein unmittelbares Geschenk der Gottheit war, mußten wunderbare Wirkungen innewohnen. Namentlich im Orient war der Glaube verbreitet an die siegbringende und vor Wunden schützende Macht meteorischen Eisens, und verschiedene Herrscher ließen sich Waffen aus niedergefallenen Massen solchen Meteoreisens schmieden. Um so merkwürdiger aber wurde die Sache dadurch, daß manches Meteoreisen sich nicht hämmern läßt, und daß daher oft alle Künste der erfahrensten Meister scheiterten. Es ist dabei auffallend, daß infolge der Zusammensetzung der meisten Meteoreisen aus verschieden harten Lamellen die aus denselben geschmiedeten Stücke genau das Aussehen von damasziertem Stahl haben (s. Abbildung, S. 94); ja, man kann der Ansicht nicht alle Berechtigung absprechen, daß die orientalische Technik der Herstellung damaszierter Klingen ihren Ursprung den Versuchen behufs Nachahmung der wunderkräftigen Meteoritenschwerter verdanke.

Im Mittelalter und in der Neuzeit werden Berichte über Aerolithen immer häufiger. Überall erregen sie das größte Aufsehen, zumal wenn sie von außergewöhnlichen, allerdings meist rein zufälligen Umständen begleitet sind; so der Fall von Ensisheim am 7. November 1492, den Kaiser Maximilian I. von Deutschland als eine Vorbedeutung benutzte, um die Christenheit zum Kampfe gegen die Türken aufzufordern.[1] Ein Steinregen bei Schleusingen in Thüringen, am 19. Mai 1552, schlug viele Fenster ein und tötete das Leibpferd des Fürsten von Schwarzburg-Rudolstadt, am 4. September 1511 wurde ein Priester zu Crema an der Adda von einem Meteoriten erschlagen. Angaben der bestimmtesten Art über Ereignisse, welche teilweise von Hunderten und Tausenden von Zeugen gesehen wurden und ganze Länder in Aufregung versetzten, liegen in beträchtlicher Anzahl vor, so daß ein Zweifel an der thatsächlichen Existenz von

[1] Der älteste Meteorit bekannten Datums, von welchem noch Stücke aufbewahrt werden.

Aerolithen nahezu unmöglich und unvernünftig erscheint; um so mehr ist man erstaunt, zu sehen, daß im vorigen Jahrhundert fast alle Gelehrten die Nachrichten über derartige Vorkommnisse als auf Irrtum, Aberglauben und Fälschung beruhend erklärten und es für eine physische Unmöglichkeit hielten, daß Steine vom Himmel fallen. Als z. B. im Jahre 1790 die oben erwähnte Urkunde über den Agramer Meteoritenfall vom Jahre 1751 veröffentlicht wurde, behauptete Stütz: „Daß das Eisen vom Himmel gefallen sein soll, mögen der Naturgeschichte Unkundige glauben, mögen im Jahre 1751 selbst Deutschlands aufgeklärtere Köpfe bei der damals unter uns herrschenden Ungewißheit in der Naturgeschichte und Physik geglaubt haben; aber in unserer Zeit wäre es unverzeihlich, solche Märchen auch nur wahrscheinlich zu finden." Im Jahre 1790 ereignete sich zu Juillac in der Gascogne ein Meteoritenfall, über den die Gemeindebehörde höchst vernünftiger- und lobenswerterweise ein Protokoll aufnehmen ließ, welches über 300 Augenzeugen unterzeichneten. Als aber dieses Dokument der Pariser Akademie vorgelegt wurde, fand man eine obrigkeitlich beglaubigte Urkunde über einen derartigen Blödsinn sehr unterhaltend.

Das große Verdienst, hier der Wahrheit Bahn gebrochen zu haben, gebührt dem bedeutenden Physiker Chladni aus Wittenberg, dem Begründer der wissenschaftlichen Akustik; nachdem schon manche vor ihm richtige Ahnungen gehegt und geäußert hatten, war er es, der in einer im Jahre 1794 erschienenen Schrift[1] mit vollster Bestimmtheit nachwies: „erstens, daß öfters Stein- und Eisenmassen vom Himmel gefallen sind und dieses als historisch erwiesene Thatsache anerkannt werden muß; zweitens, daß dieses Ereignis identisch mit Feuerkugeln ist und diese nichts anderes als eine solche brennende Masse sind; drittens, daß diese Massen kosmisch sind, d. h. Ankömmlinge aus dem Weltraum, welche vorher der Erde und ihrer Atmosphäre fremd waren." Es sind dies die eigenen Worte Chladnis, in welchen er die Ergebnisse seiner epochemachenden Arbeit zusammenfaßt; nur vier Jahre waren verflossen, seit der urkundlich belegte Bericht über den Meteoritenfall von Juillac von der gelehrten Welt als eine Thorheit beiseite geschoben worden war, und es läßt sich ermessen, welchem Widerspruch der Forscher begegnete, als er dem Vorurteil seiner Zeit kühn und entschieden entgegentrat. Von allen Seiten wurde Chladni angegriffen, ja, ein Gelehrter ging so weit, zu sagen, wenn er einen solchen Stein zu seinen Füßen hätte niederfallen sehen, so würde er erklären, er habe es gesehen, aber er glaube es nicht; ein anderer rechnete Chladni wegen seiner Ansicht über die Meteoriten „unter diejenigen, welche alle Weltordnung leugnen und nicht bedenken, wie sehr sie an allem Bösen in der moralischen Welt schuld sind"! Zum Glück brauchte Chladni nicht lange auf die allgemeine Anerkennung seiner Lehre zu warten; zufällig ereigneten sich kurz nach dem Erscheinen seines Werkes einige bedeutende Meteoritenfälle in Europa, die von einer Menge von Zeugen beobachtet und sorgfältig untersucht wurden; zuerst am 16. Juni 1794 in Siena, dann am 13. Dezember 1795 bei Wold-cottage in Yorkshire, endlich am 26. April 1803 bei L'Aigle in der Normandie, und von da an war die Existenz von Aerolithen keinem ernsthaften Zweifel mehr unterworfen.



Gehämmertes Meteoreisen.
Vgl. Text, S. 93.

Die Zahl der mit voller Sicherheit beobachteten Meteoritenfälle ist keine sehr bedeutende, sie mag etwa 1000 betragen, und man kann rechnen, daß jetzt deren durchschnittlich drei in jedem Jahre aus Europa bekannt werden. Es mag das auf den ersten Blick sehr wenig erscheinen, allein wenn man bedenkt, wie klein Europa ist, und wie leicht ein Fall unbemerkt bleibt,

[1] „Über den Ursprung der von Pallas entdeckten Eisenmasse und einige damit in Verbindung stehende Naturerscheinungen, von E. F. F. Chladni." Riga und Leipzig 1794.

der in einer wenig bewohnten Gegend, in wildem Hochgebirge, in ausgedehnten Wald-, Heide- und Sumpfstrecken oder während stürmischer Nächte vor sich geht, so wird man zur Annahme gelangen, daß die Zahl der jährlich auf der ganzen Erde ankommenden Aerolithen keine so unbedeutende sein kann. Der Teil der Erde, welchen wir bewohnen, bildet nur etwa $^{16}/_{1000}$ ihrer ganzen Oberfläche; in Europa selbst, kann man annehmen, entgehen mindestens zwei Drittel aller Meteoritenfälle der Beobachtung, und auf Grund dieser Schätzungen gelangt man zu dem Resultat, daß auf der ganzen Erde in einem Jahre mindestens 600—700 Steinfälle stattfinden.

Ungeheuer ist die Geschwindigkeit, mit welcher die Meteore in unsere Erdatmosphäre eintreten und dieselbe durchschneiden. Vielmal schneller als der Schall, als die Kugel, welche aus dem Rohre der Kanone fliegt, in vielen Fällen sogar erheblich rascher als die Bewegung der um die Sonne kreisenden Planeten[1] durcheilen sie den Raum, Entfernungen von mehreren Meilen in einer Sekunde zurücklegend. Aber bald erlahmt in der Nähe der Erde dieser Flug; der Widerstand der Luft stellt sich dem Aerolithen entgegen, zehrt rasch dessen Antrieb auf und macht seine Geschwindigkeit stationär, so daß er mit nicht sehr großer Beschleunigung den Boden erreicht. Die mechanische Wirkung des Falles auf den Boden ist infolgedessen keine sehr beträchtliche; nur einige sehr schwere Massen wühlen sich wenige Fuß tief in die Erde, meist dringen sie bloß ganz wenig ein, ja, bei dem Steinregen von Pultusk, welcher nur ziemlich kleine Trümmer lieferte, waren diese nicht im stande, die gefrorene Erdschicht, ja sogar nicht einmal das Eis des Flusses Narew zu durchschlagen.

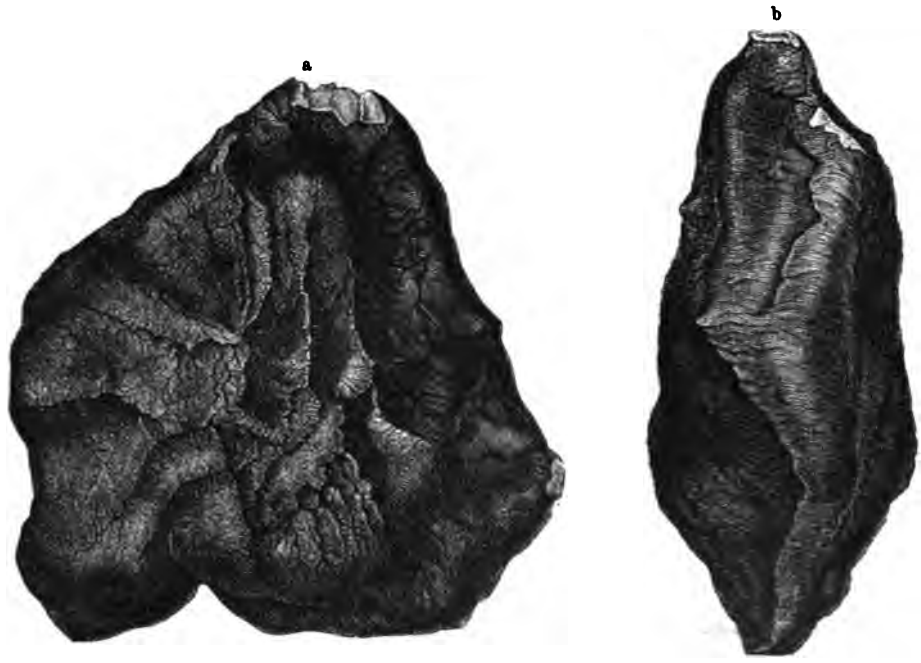
Die riesige Schnelligkeit des Meteors und der damit proportionale Luftwiderstand geben uns den Schlüssel für die Erklärung verschiedener Erscheinungen. Bei der Hemmung der kosmischen Geschwindigkeit durch die Atmosphäre wird eine große Menge lebendiger Kraft vernichtet und in Wärme umgewandelt. Der Meteorit und die Luft vor demselben werden erhitzt, und indem die letztere nach dem fast leeren Raume hinter dem Steine abfließt, umgibt sie diesen mit einer Glutatmosphäre, in welcher er äußerlich zu schmelzen und zu leuchten beginnt.

Am Ende der Bahn erfolgt zumeist eine heftige Detonation, deren Ursache man bisher meistens darin gesucht hat, daß in den luftleeren Raum hinter dem Steine im Augenblick der Hemmung plötzlich Luft eindringt. Da aber die Abnahme der Geschwindigkeit in den letzten Stadien der Bahn eine ziemlich allmähliche sein muß, und vollends von einem Stillstand des Meteoriten bei der Hemmung keine Rede sein kann, so ist auch ein plötzliches Eindringen der Luft in den Raum hinter dem Steine und die Bildung einer überaus heftigen Schallwelle nicht möglich. Eine viel befriedigendere Erklärung hat kürzlich B. Doß, gestützt auf gewisse Untersuchungen von E. Mach, gegeben. Wird ein Projektil abgeschossen, so schiebt es nach Mach eine Stirnwelle so lange vor sich hin, bis seine Geschwindigkeit kleiner ist als die normale Schallgeschwindigkeit. In diesem Augenblick eilt die früher stationäre Stirnwelle dem Geschoß voraus, und ihre akustische Wirkung besteht in einem Knalle. B. Doß erblickt nun in der Detonation am Schluß der Meteoritenbahn die Schallwirkung der Kopfwelle, welche der Meteorit auf seinem Laufe durch das irdische Luftmeer bilden muß. Die übrigen sausenden, knatternden und dumpf rollenden Geräusche entstehen teils durch die Fallbewegung, teils durch gewisse Schwingungen, welche der wie ein Pfeil mit dem Schwerpunkt vorausfliegende Meteorit deshalb ausführen muß, weil sein Schwerpunkt nicht mit dem Mittelpunkt zusammenfällt. Unter diesen Erscheinungen erreicht der Fremdling aus den fernen Himmelsräumen den irdischen Boden.

---

[1] Der Meteorit von Pultusk legte in der Atmosphäre, die doch durch ihren Widerstand seine Geschwindigkeit verzögern mußte, etwa 7,25 Meilen in der Sekunde zurück, während Merkur, der schnellste unter den Planeten, sich in derselben Zeit nur 6,41 Meilen fortbewegt.

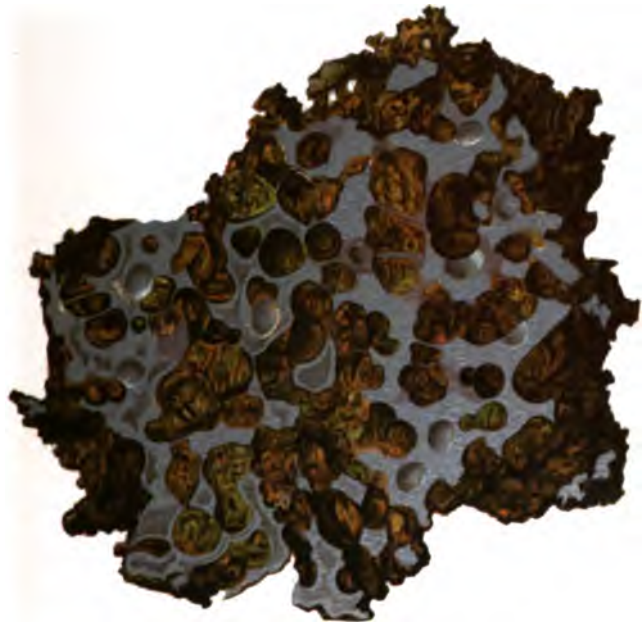
Betrachten wir den merkwürdigen Ankömmling näher, so finden wir, daß seine Oberfläche mit einer schwarzen, glasigen Schmelzkruste von sehr geringer Dicke überzogen ist. Deutlich kann man oft an der strahligen Bildung dieser Rinde und an der Art und Weise, wie dieselbe bisweilen zu sogenannten Schmelzwülsten angeordnet ist, erkennen, wie der geschmolzene Teil vom stürmischen Luftzuge nach rückwärts geblasen wurde, und kann daraus die Brust, d. h. diejenige Seite des Meteoriten, welche beim Fluge nach vorn gerichtet war, bestimmen. Insbesondere ist dies der Fall bei einem Meteoriten von Stannern in Mähren, welcher als eine „Leitform" klassisch geworden ist; das Exemplar wird im Hofmineralienkabinett zu Wien aufbewahrt und findet sich auf den beistehenden vier verschiedenen Ansichten (vgl. unten und S. 97) in natürlicher Größe abgebildet. Daß die Schmelzkruste eine dünne ist und sein muß, ist sehr begreiflich,



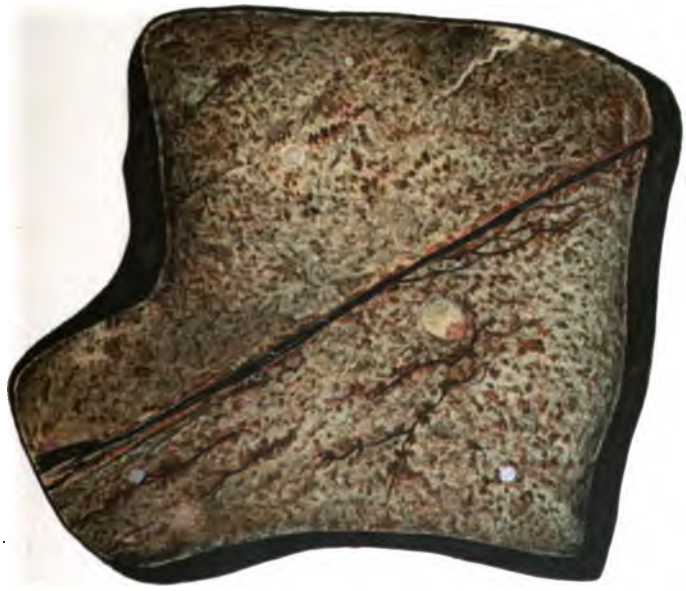
Ein Meteorit vom Steinregen bei Stannern. Ein „ganzer" Stein mit ausgezeichneten Schmelzwülsten.
a) Ansicht der Brust; b) Ansicht einer Seite.

denn wenn auch größere Mengen der Substanz durch die Hitze flüssig werden, so können sie doch nicht an dem Steine bleiben, sondern werden, von dem gewaltigen Luftstrome zerstäubt, zurückbleiben und so den leuchtenden Schweif des Meteors bilden helfen. Wo Sprünge in dem Steine vorhanden sind, wird die geschmolzene Masse in diese hineingepreßt, so daß man oft, wie z. B. an dem auf der beigehefteten Tafel „Meteoriten" abgebildeten Meteoriten von Kakova, mitten im Inneren der Masse Adern der schwarzen Glassubstanz findet.

Eine andere Eigentümlichkeit, die bei sehr vielen Aerolithen auftritt, ist die, daß ihre Oberfläche zahlreiche Vertiefungen, „Näpfchen", zeigt, die oft Fingereindrücken gleichen und bald größer, bald kleiner sind; Daubrée in Paris hat durch zahlreiche Experimente gezeigt, daß ganz übereinstimmende Gruben durch Einwirkung komprimierter Gase auf feste Körper bei Explosionen von Dynamit, Schießpulver, Schießbaumwolle ꝛc. entstehen, und so darf man wohl annehmen, daß auch bei den Meteoriten die zusammengepreßte glühende Luft Stücke herausgesprengt hat, die, zu Staub zertrümmert, ebenfalls im Schweife zurückgeblieben sind. Besonders jene Teile der Meteoriten, welche an dem nach Brezina weniger widerstandsfähigen Troilit reich sind,



Meteorit von Krassnojarsk (Pallaseisen).



Meteorit von Kakova.

METEORITEN.

[redacted]

[redacted]

werden zu tiefen Aushöhlungen, ja selbst Durchbohrungen Anlaß geben. Auch die ungleiche Spannung infolge der plötzlichen Erhitzung der Oberfläche kann, wie V. Goldschmidt jüngst gezeigt hat, das Absprengen flach kugeliger Schalenteile und die Bildung der „Daumeneindrücke" verursachen, nach Art des Vorgangs, welchen wir bei den Wüstensteinen beobachten. Auch bei diesen werden durch die plötzliche Abkühlung oder Erhitzung bei heißem, beziehungsweise kaltem Inneren Schalenteile abgestoßen und ganz ähnliche Daumeneindrücke geschaffen.

Die Zahl der Steine eines Falles ist sehr verschieden; sehr oft findet man deren nur einen, oft aber mehrere, mitunter sogar sehr viele. Der Steinregen von Stannern in Mähren ergab einige Hundert, der von L'Aigle in der Normandie etwa 3000 Stück, welche über einen ovalen Raum von 12 km Längendurchmesser verstreut waren; der Fall von Knyahinya in Ungarn im

Ein Meteorit vom Steinregen bei Stannern. Dasselbe Exemplar wie auf S. 96. a) Ansicht des Rückens; b) Ansicht einer zweiten Seite. Vgl. Text, S. 96.

Jahre 1866 blieb hinter dem von L'Aigle nur wenig zurück, während derjenige von Pultusk in Polen, vom 30. Januar 1868, alle anderen, die wir näher kennen, übertrifft.

Es drängt sich nun die Frage auf, in welchem Zustande diese zahlreichen Stücke zu uns kommen, ob sie nur eine Masse bildeten, die in der Atmosphäre zersprang, oder ob sie schon als Meteorschwarm in unsere Atmosphäre gelangten. Liegen Stücke vor, die nicht allseitig überrindet sind, sondern frische oder nur mit einem Hauch von Schmelzrinde überzogene Bruchflächen zeigen, so kann man mit Sicherheit annehmen, daß sie während des Niederstürzens und Auffallens zertrümmert worden seien; anders verhält es sich dagegen bei den „ganzen" Steinen, d. h. bei denjenigen, welche rings ihre schwarze Kruste zeigen. Diese müssen schon als selbständige Körper in die Atmosphäre eingetreten sein.

Selbst bei den großen Steinregen kommen meist „ganze" Exemplare herab; so werden im Pariser Museum für Naturwissenschaften allein 950 ganze Steine von dem einen Falle von Pultusk vom 30. Januar 1868 aufbewahrt. Die Bildung so zahlreicher gut abgerundeter Fragmente durch Zersprengung einer einzigen Masse während des Zeitraums weniger Sekunden, die sie in der Atmosphäre zubringt, ist ein Ding der Unmöglichkeit; man sieht sich daher zu der

Annahme gezwungen, daß sich ganze Schwärme von Körpern eng gedrängt im Weltraum bewegen. Man kennt zwar Fälle von Zersprengung eines Meteors während der Zeit, in welcher es mit kosmischer Geschwindigkeit durch die Luft stürmt, Fälle, in welchen jedes Bruchstück vollständig glasig überrindet ist; so fand man bei Quenggouk in Indien zwei genau zusammenpassende Fragmente in einer Entfernung von etwa einer englischen Meile voneinander, welche an den Bruchflächen leicht überrindet waren, und bei dem Falle von Butsura in Ostindien, vom 12. Mai 1861, fand man drei Stücke, die in gegenseitigen Entfernungen von 2 englischen Meilen lagen und vollkommen zusammenpaßten (vgl. Abbildung, S. 99); doch gehören diese Fälle zu den Ausnahmen, und keinesfalls kann man Steinregen wie die oben genannten auf derartige Vorgänge zurückführen. Für die Erklärung solcher Fälle reicht nur die Annahme von Meteoritenschwärmen aus. Allerdings scheint dieser Auffassung ein ziemlich handgreiflicher Einwurf gegenüberzustehen: das Meteor tritt als eine geschlossene Feuerkugel auf, wie sollte dasselbe aus einigen Hundert oder Tausend kleiner Bruchstücke bestehen? Diese Zweifel werden jedoch durch eine höchst wichtige Beobachtung des berühmten Vorstands der Sternwarte in Athen, Julius Schmidt, zerstreut, des ersten Astronomen, dem es gelungen ist, eine Feuerkugel ersten Ranges durch ein Teleskop zu beobachten. Wenn man bedenkt, wie spärlich solche Erscheinungen auftreten, wie kurz sie dauern, und mit welcher Blitzeseile sie in der Regel vorüberziehen, so wird es begreiflich, daß sie überaus selten zur Beobachtung gelangen. Das Meteor erwies sich, durch das Fernrohr betrachtet, als aus zahlreichen Teilen zusammengesetzt; es bestand aus zwei strahlend grünen Stücken von tropfenförmiger Gestalt, welche lange feuerrote Schweiflinien zurückließen; hinter ihnen folgte ein Schwarm grünstrahlender Fragmente von sehr verschiedener Größe, deren jedes eine rote Feuerlinie mit sich führte. Besonders wird hervorgehoben, daß der wirkliche Durchmesser der Erscheinung ein sehr viel kleinerer war, als er dem freien Auge erschien, eine Thatsache, welche von großer Wichtigkeit ist, da sie zeigt, daß der oft hervorgehobene Kontrast zwischen den großen Dimensionen der Meteore und der geringen Masse der niederfallenden Steine lediglich auf einer durch das blendende Licht der ersteren erregten Sinnestäuschung beruht. Das bedeutendste Resultat ist aber jedenfalls der sichere Nachweis, daß eine größere Anzahl meteorischer Körper in geschlossenem Schwarm und mit parallelen Bahnen die Atmosphäre durchzieht und dabei dem unbewaffneten Auge als eine einzige Feuerkugel erscheinen kann, wie dies namentlich von Haidinger schon längst angenommen worden war.

Die Größe und Masse der Steine, welche auf die Erde niederfallen, ist in der Regel keine bedeutende; der Eisenblock von Santa Catharina in Brasilien wog allerdings 2250 kg, eine zweite in Brasilien gefundene Masse wurde auf 7000 kg geschätzt, wiewohl ihre Größe noch nicht 1 cbm erreichte, und zwei zusammengehörige schollenförmige Eisen von 4,65 m Länge und 1,5 m Breite, welche bei Chupaderos in Mexiko gefunden wurden, wiegen gar 24—25,000 kg; aber unter den nichtmetallischen Aerolithen kennt man nur einzelne von 200—300 kg, selten überschreiten sie 50 kg, und bei den meisten bleibt das Gewicht bedeutend unter diesen Grenzen. Sehr kleine „ganze" Steine kennt man ebenfalls verhältnismäßig wenige, doch liegt der Grund hierfür wohl lediglich in der großen Schwierigkeit, dieselben zu finden. Bei dem Falle von Heßle bei Upsala in Schweden, welcher am 1. Januar 1869 stattfand, erleichterte eine Schneedecke die Aufsuchung, und infolgedessen gelang es hier, viele solcher kosmischen Körper bis zu winzigen Dimensionen nachzuweisen; der kleinste, welcher in Stockholm aufbewahrt wird, hat ein Gewicht von 0,06 g.

Solche Vorkommnisse bilden den Übergang zu förmlichem Meteorstaub, dessen Ankunft ebenfalls in manchen Fällen nachgewiesen wurde. So fand man in Schweden auf der winterlichen Schneedecke schwarzen Staub, der sich als aus Eisenpartikelchen bestehend erwies und als

meteorisch gedeutet wird. Ja, in den größten Tiefen des Meeres, weitab vom Festland, wo sich nur überaus geringe Mengen von Absatz aus dem Wasser niederschlagen, enthält dieses Sediment, besonders der sogenannte rote Tiefseeschlamm, braungelbe, mit nickelhaltigem Eisen überrindete Körnchen von 0,5 mm Durchmesser, welche sich als meteorische Bronzitchondrite darstellen und beweisen, daß die Tiefseeablagerungen zu einem ziemlich beträchtlichen Teile aus Meteorstaub bestehen.

Die Meteoriten „fallen vom Himmel", aber woher kommen sie, welches ist ihr Ursprung? Diese Fragmente, von welchem Himmelskörper stammen sie, aus welchen Regionen des Weltraums gelangen sie zu uns? Über diese ebenso wichtigen wie schwierigen Fragen sind schon viele Hypothesen aufgestellt und erwogen worden, und wenn auch eine derselben heute vorwiegend Anklang findet, kann man die Sache doch noch nicht als vollständig entschieden betrachten.

Ursprünglich dachte man daran, daß die Meteoriten „verdichtete Dünste" des Weltraums seien, und diese Ansicht wird auch heute noch vertreten. Später betrachtete man die Meteoriten als Auswürflinge der angenommenen Mondvulkane, und nachdem diese Ansicht lange Zeit für gänzlich unhaltbar gegolten hatte, wurde sie neuestens von ernster astronomischer Seite wieder in den Vordergrund gerückt und diskussionsfähig gemacht. Die Bomben der Mondvulkane müßten mit ungeheurer Anfangsgeschwindigkeit ausgeschleudert worden sein, um die Mondanziehung überwinden und um Mond und Erde kreisen zu können. Hierin und in der großen Schnelligkeit der Bewegung der Meteoriten erblickt man die Hauptschwierigkeit dieser Anschauung. Von anderer Seite wurde auf die Sonneneruptionen hingewiesen, aber diese Idee wurde bald abgelehnt, da, wie man weiß, die Substanz der Protuberanzen stets in die Sonne zurückfällt. Forscher, welche an diese Frage hauptsächlich vom petrographischen und geologischen Standpunkt herantreten, sind zumeist geneigt, mit Rücksicht auf die weiter unten zu besprechende Analogie zwischen dem meteorischen und dem Magma der großen Erdtiefen, den Bestand von ähnlich wie die Erde gebauten planetarischen Körpern anzunehmen. Diesen werden die Meteoriten zugeschrieben, und zwar werden zur Bildung der Meteoriten teils vulkanische Eruptionen solcher Weltkörper, teils ein Zerfall derselben in viele kleine Scherben vorausgesetzt.

Der Meteorit von Butsura. Vgl. Text, S. 98.

Diejenige Anschauung, welche namentlich unter den Astronomen die meisten Anhänger zählt, bringt die Meteorsteine in Verbindung mit den Sternschnuppen und Kometen. Nachdem ein Zusammenhang zwischen diesen Erscheinungen schon seit längerer Zeit von verschiedenen Forschern vermutet worden war, hat Schiaparelli durch seine scharfsinnigen Untersuchungen wichtige Gründe für das Bestehen eines solchen Zusammenhanges beigebracht; seine Lehre wurde dann durch E. Weiß in manchen Punkten abgeändert und bildet jedenfalls die beste Erklärung der Erscheinungen, die bisher gegeben worden ist.

Das schöne Phänomen der Sternschnuppen ist allgemein bekannt; in jeder heiteren Nacht sieht man von Zeit zu Zeit, mehrmals in einer Stunde, wie ein Stern aus der Zahl der übrigen hervorzubrechen scheint und mit großer Schnelligkeit am Himmel dahinschießt, um nach wenigen Augenblicken wieder zu verschwinden. Man weiß jetzt mit Bestimmtheit, daß die Sternschnuppen wie die Meteoriten feste Körper sind, die mit kosmischer Geschwindigkeit aus dem Weltraum in die Erdatmosphäre eindringen und hier zu leuchten beginnen; die Höhe, in welcher sie erscheinen und wieder erlöschen, ist sehr wechselnd, doch kann man dieselbe für ihr Aufleuchten durchschnittlich mit 15, für das Verschwinden mit 11 Meilen über der Erdoberfläche annehmen. Auch hier ist die Lichterscheinung von der durch die kosmische Geschwindigkeit des fliegenden Körpers erhitzten und komprimierten Luft veranlaßt; der Grund des Erlöschens kann nur darin gesucht werden, daß der Körper durch die glühende Temperatur, vielleicht auch durch einen Verbrennungsprozeß, zerstäubt oder verzehrt wird oder die Atmosphäre der Erde wieder verläßt.

In den meisten Nächten fallen die Sternschnuppen einzeln, ohne bestimmte Richtung und in längeren Zwischenräumen, in anderen dagegen zeichnen sie sich durch bedeutende, mitunter sogar durch außerordentlich große Häufigkeit aus. Im Jahre 1799 beobachtete A. von Humboldt in den Morgenstunden des 12. November zu Cumana in Venezuela von $2^1/_2$ Uhr an Tausende von Feuerkugeln und Sternschnuppen am östlichen Himmel, welche alle in einer gleichmäßigen Richtung von Norden nach Süden zogen; er zeigte später, daß dieser Sternschnuppenregen in ganz Amerika vom Äquator bis Grönland und bis nach Deutschland beobachtet worden sei, so daß das Erscheinungsfeld dieses Phänomens etwa 1 Million Quadratmeilen umfaßte. Später erregte das Studium der Sternschnuppen, welches von den Astronomen anfangs stark vernachlässigt worden war, allgemeineres Interesse, und bald fand man, daß bestimmte Perioden des Jahres und gewisse Nächte durch bald stärkere, bald schwächere Meteorschauer ausgezeichnet seien. Man suchte nun Nachrichten über solche Vorkommnisse in alten Aufzeichnungen und Chroniken und gelangte zu dem interessanten Resultat, daß einzelne Sternschnuppenschwärme seit drittehalbtausend Jahren fast genau dieselben Tage einhalten; z. B.:

Vor	Christo	im	Jahre	687	am	19.	April,	Nach	Christo	im	Jahre	1095	am	20.	April,
"	"	"	"	15	"	19.	"	"	"	"	"	1096	"	21.	"
Nach	"	"	"	582	"	18.	"	"	"	"	"	1122	"	20.	"
"	"	"	"	1093	"	20.	"	"	"	"	"	1123	"	20.	"
"	"	"	"	1094	"	20.	"	"	"	"	"	1803	"	19.	"

Weitaus am reichsten ist in der nördlichen Hemisphäre der Schwarm vom 13. zum 14. November, ferner der „Strom des heiligen Laurentius", dessen feurige Thränen nach altem Volksglauben in der Nacht des 10. August niederfallen. Im ganzen Verlauf des Jahres zeichnen sich für die nördliche Halbkugel die folgenden Tage durch größere Meteorschwärme aus, während spärlichere Ströme noch außerdem in sehr bedeutender Anzahl auftreten:

1) 2.— 3. Januar,
2) 12.—13. April,
3) 19.—23. April,
4) 26.—29. Juli,
5) 9.—13. August (Laurentiusstrom),
6) 19.—25. Oktober,
7) 13.—14. November.
8) 27.—29. November,
9) 6.—13. Dezember.

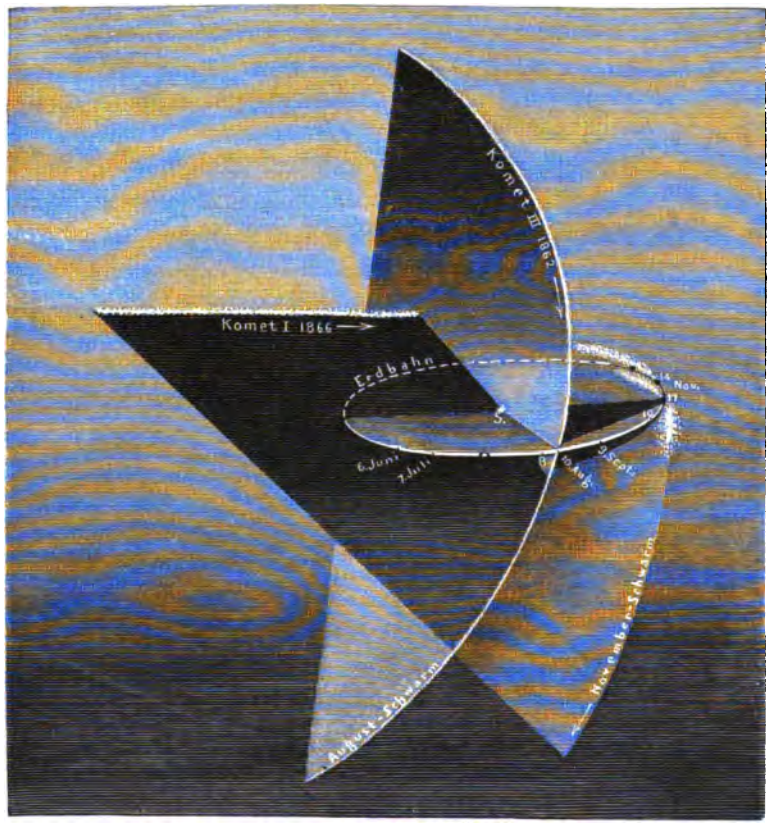
Die Betrachtung eines dieser schönen Phänomene ergibt das wichtige Resultat, daß die Bahnen der einzelnen Sternschnuppen eines Schwarmes sich nicht regellos kreuzen, sondern daß sie nach rückwärts verlängert auf einen bestimmten Punkt des Himmels, den Radiationspunkt oder Radianten hinziehen oder von demselben ausgehen, der weder im Verlauf der Nacht noch von einem Jahre zum anderen sich ändert. So weisen die Meteore des Laurentiusstroms auf einen Punkt, der sich in der Nähe des Sternes γ im Sternbild des Perseus befindet, der Schwarm vom 13. November hat seinen Radiationspunkt zwischen den Sternen γ und μ im Löwen, weshalb man dieselben auch die Ströme der Perseïden und der Leoniden genannt hat.

Die einzige Möglichkeit für die Erklärung der Verhältnisse, wie wir sie hier kennen gelernt haben, ist die, daß die in einer jeden solchen Nacht sichtbar werdenden Meteore zu einem Schwarme gehören, welcher, aus einer ungeheuern Anzahl kleiner Körper bestehend, die Sonne in gemeinsamer Bahn umkreist; letztere schneidet die Erdbahn in einem Punkte, den die Erde am Tage des Sternschnuppenschauers passiert, und bei seinem Durchgang durch den Meteorstrom reißt dann unser Planet vermöge seiner Schwere einen Teil jener kleinen Körper zu sich hernieder.

Wie schon erwähnt, sind die beiden Ströme der Perseïden (9.—13. August) und der Leoniden (13.—14. November) bei weitem die reichsten, welche die Erde kreuzt. Aber nicht in jedem Jahre ist der Glanz der Erscheinung derselbe; die Perseïden zeigen sich alle 108 Jahre in einem Maximum des Glanzes, das jedoch nicht vorübergehend ist, sondern 20—30 Jahre anhält. Noch auffallender ist der Wechsel der Leoniden. Wir haben schon die Schilderung erwähnt, welche Humboldt von dem zu Cumana beobachteten Falle gibt; weiter sahen in der Nacht vom 12. zum 13. November 1833 Olmsted und Palmer zu Newhaven in Nordamerika, wie Feuerkugeln raketenartig von einem einzigen Punkt des Himmels ausgingen und zwar in so großer Zahl, daß sie dicht wie Schneeflocken fielen und der Himmel fast ganz in Feuer zu stehen schien; es wurde berechnet, daß dort in neun Stunden, während welcher die Erscheinung anhielt, mehr als eine Viertelmillion Meteore gefallen sein müssen. Allein bei weitem nicht in jedem Jahre zeigt sich so reiche Entwickelung; nach den gesammelten Berichten kehrt dieses Maximum in einer Periode von $33^1/_4$ Jahren, also dreimal in einem Jahrhundert wieder. Durch genaues Studium aller Daten konnte der abermalige Eintritt für die Nacht vom 13. zum 14. November 1866 vorausgesagt werden, und wirklich zeigte sich zur berechneten Zeit der Sternschnuppenschwarm in kaum geahnter Schönheit. Aus einer solchen periodischen Wiederkehr der höchsten Entfaltung konnte geschlossen werden, daß die kosmischen Körper, die einen derartigen Schwarm bilden, nicht längs der ganzen Bahn desselben gleichmäßig verteilt, sondern an einer Stelle besonders dicht gedrängt sind, und aus der regelmäßigen Wiederkehr dieses Maximums konnte auch die Zeit bestimmt werden, welche der Schwarm nötig hat, um seine Bahn zu durchlaufen. Für die Leoniden wurde diese Zeit auf 33,25 Jahre festgestellt. Da man die Umlaufszeit, die Richtung und durch gewisse Kombinationen, die wir hier nicht eingehend besprechen können, die Geschwindigkeit der Meteore, endlich den einen Brennpunkt der Bahn, die Sonne, kennt, so war damit die Möglichkeit vorhanden, die Bahnen von Meteoriten zu berechnen, und es ergab sich, daß diese Kurven mit solchen, welche die periodischen Kometen in ihrem Lauf verfolgen, die größte Verwandtschaft besitzen.

Ein gewaltiger Fortschritt in dieser Richtung war es, als Schiaparelli zeigte, daß die Bahn der Perseïden mit derjenigen des dritten Kometen von 1862 zusammenfällt, während für die Leoniden nachgewiesen wurde, daß der erste Komet des Jahres 1866 in demselben Verhältnis zu ihnen steht. Ebenso hängt der erste Komet von 1861 mit dem Schwarm vom 20. April, der Bielasche Komet mit dem Schwarm vom 27.—29. November zusammen, und noch für eine Anzahl anderer Meteorströme ist es gelungen, sie mit ziemlicher Wahrscheinlichkeit auf die Bahnen bekannter Kometen zurückzuführen.

Es kann nicht unsere Absicht sein, hier die astronomische Seite der Frage eingehend zu besprechen; es mag genügen, die nachgewiesene Möglichkeit hervorzuheben, daß ein Komet durch die Einwirkung der Sonne oder eines Planeten, welchem er sich stark nähert, zerfalle oder ganz oder teilweise aufgelöst werde[1]. Die einzelnen Teile oder Fragmente müssen sich längs der Bahn des Kometen verteilen und dieselbe weiter verfolgen und so längs dieser den Meteorring bilden, aus welchem die Sternschnuppenschwärme herrühren (s. untenstehende Abbildung). Der Zusammenhang zwischen beiderlei Erscheinungen ist ein so inniger, daß, wie E. Weiß es aussprach, nicht nur jeder periodische Komet die Bildung eines Meteorschwarms veranlassen muß, sondern auch jeder periodisch wiederkehrende Sternschnuppenfall überhaupt der Kreuzung der Erdbahn mit derjenigen eines periodischen Kometen seinen Ursprung zu verdanken hat.



Kometenbahnen und Sternschnuppenschwärme. (Nach H. Schellen.)

Sind wir nun berechtigt, wie oben angedeutet wurde, auch die auf die Erde niederfallenden Meteorsteine mit den Sternschnuppen zu identifizieren und sie somit als Bruchstücke von Kometen zu betrachten? Beide sind feste Körper, die mit ungeheurer Geschwindigkeit in unsere Atmosphäre eindringen; beide komprimieren die Luft auf ihrem Wege vor sich her außerordentlich stark, wodurch heftige Erhitzung, Glühen und Aufleuchten hervorgebracht wird. Allerdings herrscht ein bedeutender Kontrast zwischen dem kleinen Stern, der lautlos am Himmel hinzieht und verschwindet, und der gewaltigen Feuerkugel, die brausend und rollend herankommt und nach gewaltiger Detonation den Steinregen niedersendet; allein diese zwei Erscheinungen bilden nur die beiden Extreme einer Reihe von Phänomenen, zwischen denen alle Übergänge vorkommen. Sehr kleine oder sehr rasch in der Atmosphäre sich bewegende Körper werden verzehrt, ehe sie die Erde erreichen, und auch das Geräusch der Detonation dringt aus jenen hohen Regionen nicht bis zur Erdoberfläche herab. Diese Erwägungen berechtigen wohl dazu, dem Auftreten von Meteoriten und

[1] Das Zerfallen eines Kometen in zwei oder mehrere ist eine mehrfach konstatierte Thatsache; das bekannteste Beispiel bietet der Bielasche Komet, der sich im Januar 1846 in zwei teilte, und der Brooksche Komet aus dem Jahre 1890.

Sternschnuppen dieselbe Ursache zuzuschreiben, und eine Bestätigung dieser Auffassung erhält man dadurch, daß es in einzelnen Fällen gelungen ist, Aerolithen mit Wahrscheinlichkeit auf Radiationspunkte bekannter Sternschnuppenschwärme zurückzuführen. Wenn trotzdem weder zur Zeit der Leoniden noch der Perseiden nach den Verzeichnissen mehr Aerolithen auf die Erdoberfläche gelangen als zu anderen Zeiten, so erscheint dies zwar als ein Widerspruch, doch ergibt eine genauere Erwägung, daß derselbe keinerlei Bedeutung hat.

Die Astronomen nehmen an, daß die Atmosphäre der Erde täglich von 10—12 Millionen Sternschnuppen gekreuzt wird, während man die Zahl der in einem Tage niederfallenden Meteorsteine auf 2—3 schätzt; daraus geht hervor, daß von allen den festen Körpern, welche in die Atmosphäre eintreten, nur ein ganz verschwindend kleiner Teil bis zur Erde gelangt, die ungeheure Mehrzahl dagegen auf ihrem Wege durch die Atmosphäre zerstört wird. Daher werden die Verhältnisse, unter welchen ein Meteorstrom in die Atmosphäre gelangt, von größerer Wichtigkeit für die Erhaltung der einzelnen Körper sein als die Zahl dieser. Die Zerstörung der Meteore ist eine Wirkung der Schnelligkeit, mit der sich dieselben durch die Atmosphäre bewegen; je rascher also die Körper eines Schwarmes die Luft durchschneiden, um so mehr werden sie der Vernichtung ausgesetzt sein, ohne die Erdoberfläche zu erreichen. Die Geschwindigkeit nun, mit welcher ein Meteor die Luft durchschneidet, hängt nicht nur von seiner eigenen Beschleunigung, sondern ganz wesentlich auch von der Richtung ab, in der es auf die Erde trifft. Kommt das Meteor aus derjenigen Richtung, nach welcher die Erde sich gerade in ihrer Bahn bewegt, so wird die Sternschnuppe die Atmosphäre, die sich ja mit der Erde fortbewegt, mit einer Geschwindigkeit durchschneiden, welche derjenigen der Erde (fast 4 Meilen in der Sekunde) plus derjenigen des Meteors gleichkommt; im entgegengesetzten Falle, wenn die Sternschnuppe aus jener Region kommt, aus welcher die Erde sich fortbewegt, wenn sie mit anderen Worten die Erde einholen muß, dringt sie verhältnismäßig viel langsamer in die Atmosphäre ein, ihre Geschwindigkeit in dieser ist dann gleich der ursprünglichen Beschleunigung des Meteors minus derjenigen der Erde.

Es geht daraus hervor, daß für Schwärme, welche der Erde gerade entgegenkommen oder die Richtung der letzteren unter einem sehr spitzen Winkel schneiden, verhältnismäßig wenig Aussicht auf die Erhaltung der Meteore und somit auf den Falle von Steinen vorhanden ist; gerade die Leoniden und Perseiden befinden sich in diesem Falle, woraus wir uns wohl erklären können, warum die Zeit vom 9.—13. August und vom 13. zum 14. November nicht durch häufigere Aerolithenfälle ausgezeichnet ist.

Zusammensetzung der Meteoriten.

Wir haben nun die chemische Zusammensetzung der Meteoriten ins Auge zu fassen. Zahlreiche Forscher haben Analysen solcher Steine gemacht, und ihren Studien verdanken wir das merkwürdige und bedeutungsvolle Resultat, daß diese Fremdlinge aus fernen Regionen des Weltraumes nicht einen einzigen Grundstoff enthalten, welcher sich nicht auch auf der Erde findet. Bis jetzt sind die folgenden Elemente in Aerolithen mit Sicherheit nachgewiesen worden:

Wasserstoff	Chlor	Silicium	Aluminium	Chrom	Kupfer
Sauerstoff	Phosphor	Kalium	Magnesium	Kobalt	Zinn
Stickstoff	Arsen	Natrium	Mangan	Nickel	Titan.
Schwefel	Kohlenstoff	Calcium	Eisen		

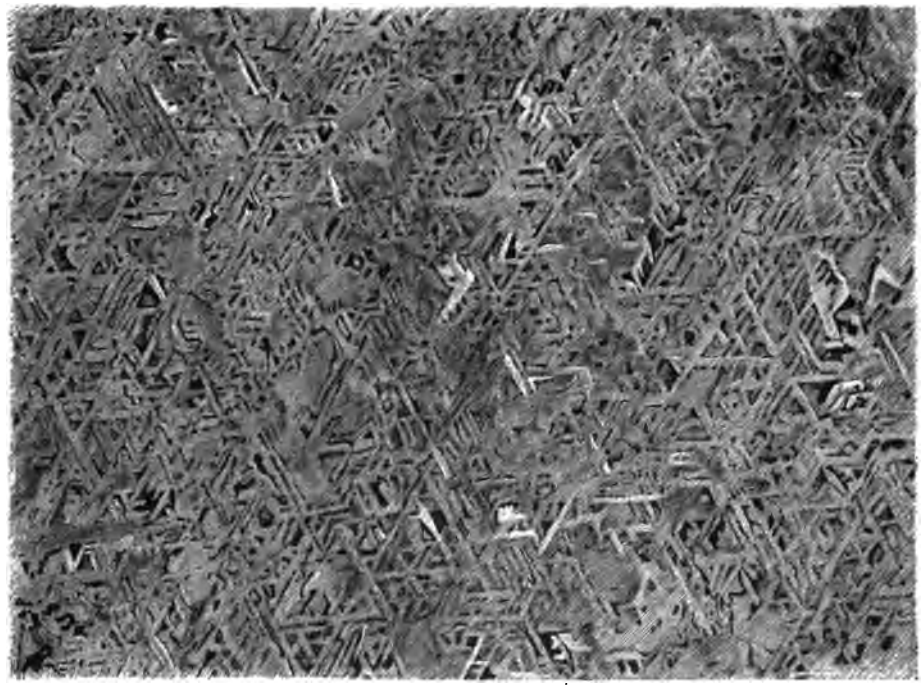
Außerdem hat J. Lockyer auf dem Wege der Spektralanalyse einige bisher in Meteoriten nicht bekannte Elemente nachgewiesen, und zwar Strontium, Baryum, Zink, Wismut, Lithium.

Zwar ist das nicht ganz ein Drittel der bekannten irdischen Elemente, doch ist es wegen der verhältnismäßig kleinen Masse der Meteoriten durchaus nicht zu verwundern, daß die Zahl noch nicht größer ist; ohne Zweifel werden sich mit der Zahl der zu untersuchenden Steine auch die Stoffe ihrer Zusammensetzung mehren. Eisen, Magnesium und Silicium gehören zu den verbreitetsten Elementen auf der Erde, an deren Aufbau sie einen sehr wesentlichen Anteil nehmen. Ebenso verhält es sich in den Meteoriten; dagegen sind hier Calcium, Kalium, Natrium, Aluminium weit schwächer vertreten als auf der Erde, und die edlen Metalle fehlen bis jetzt ganz, während Nickel eine viel größere Rolle spielt als in der Zusammensetzung der irdischen Gesteine. Wenn sich aber auch derartige Abweichungen in Einzelheiten zeigen, so liefern uns doch im ganzen die Meteoriten einen überraschenden und vollgültigen Beleg für die aus der Spektralanalyse abgeleitete Lehre von der Einheit der Materie auf verschiedenen Himmelskörpern. Was die Betrachtung des Lichtes von Sonne, Fixsternen und Nebelflecken durch das Prisma ergeben hat, sehen wir glänzend und geradezu handgreiflich bestätigt durch die Untersuchung der Kometentrümmer. Wir können aber in unserem Falle noch viel weiter gehen; wir können untersuchen, in welcher Weise sich die Elemente zu einfachen Verbindungen, zu Mineralien gruppieren, und wie sich diese Mineralien ihrerseits zu felsbildenden Massen, zu Gesteinen anordnen. Diese Studien, um die sich namentlich der berühmte Mineralog Gustav Rose große Verdienste erworben hat, ergeben, daß ein großer Teil der meteorischen Mineralien mit derselben Kristallform und derselben chemischen Zusammensetzung auch auf der Erde vorkommt, so Olivin, Augit, Enstatit, Anorthit, Tridymit, Quarz, Chromeisenstein, Magnetkies, Magnetit, Graphit, Diamant, Pyrit, während andere auf unserem Planeten noch nicht gefunden wurden; zu den letzteren gehören das Nickeleisen, das Schwefelcalcium, Eisenchlorür (Lawrencit), ferner gewisse Verbindungen von Phosphor mit Eisen und Nickel (Schreibersit) und von Schwefel mit Eisen und Chrom (Daubréelith). Der Troilit, das Einfachschwefeleisen, spielt im Meteoreisen eine wichtige Rolle und ist auf der Erde bisher nur als Begleiter des basaltischen Eisens von Ovifak bekannt.

Eine sehr merkwürdige Entdeckung wurde hinsichtlich der Zusammensetzung der Meteoriten in neuerer Zeit von Graham gemacht, welcher gezeigt hat, daß die Meteoriten Gase absorbiert enthalten. Hierauf bezügliche Untersuchungen wurden dann auch von anderen wiederholt, und es hat sich gezeigt, daß diese absorbierten und durch Erhitzen zu entfernenden Gase aus Wasserstoff, Kohlensäure, Kohlenwasserstoff und Stickstoff bestehen. Wird dadurch einerseits die Analogie mit dem Magma der irdischen Vulkane erhöht, welches ebenfalls Gase absorbiert enthält, so erfährt anderseits auch die Annahme des Zusammenhangs der Meteoriten mit den Kometen eine Verstärkung, da die Spektralanalyse das stete Vorhandensein von Kohlenwasserstoffen in den Kometen erwiesen hat.

Nach der Art der Zusammensetzung können wir unter den Meteoriten zwei heterogene Typen unterscheiden, die Meteoreisen und die Meteorsteine. Die ersteren bestehen aus gediegenem Eisen mit einem ziemlich bedeutenden Gehalt von Nickel, ferner von etwas Phosphor, Schwefel und oft auch Kohle. Einzelne zeigen ein durch das ganze Stück sich gleichbleibendes Gefüge, so daß die ganze Masse ein Fragment eines einzigen Kristallindividuums zu sein scheint; in der Regel jedoch besteht das Meteoreisen aus dünnen, nebeneinander gelagerten Lamellen, welche nach kristallographischen Gesetzen angeordnet sind und sich durch etwas verschiedenen Gehalt an Nickel, Phosphor und Schwefel unterscheiden. Diese kleinen Unterschiede in der Zusammensetzung bewirken, daß die einzelnen Eisenlamellen von Säuren ungleich stark angegriffen und schneller oder langsamer aufgelöst werden. Wenn man daher ein Meteoreisen durchschneidet und die polierte Oberfläche mit Salpetersäure anätzt, so tritt in der Regel auf der vorher ganz gleichmäßig erscheinenden Ebene plötzlich eine eigentümliche Lamellenanordnung hervor, da einzelne

Blätter von der Säure mehr, andere weniger angegriffen werden; es entsteht dadurch eine sehr charakteristische Zeichnung, welche nach ihrem Entdecker den Namen der Widmanstättenschen Figuren (s. untenstehende Abbildung) erhalten hat. Daubrée, Meunier und Lawrence Smith ist die künstliche Nachahmung dieser Erscheinung durch Zusammenschmelzung von Eisen mit Nickel, Schwefeleisen und Phosphoreisen oder mit Silicium gelungen; in der Natur ist sie dagegen noch an keinem irdischen Körper beobachtet worden, so daß man durchaus berechtigt ist, für alle lose auf der Bodenoberfläche vorkommenden Eisenmassen, welche die Widmanstättenschen Figuren zeigen, meteorischen Ursprung anzunehmen. Dadurch sind wir zur Kenntnis einer ziemlich beträchtlichen Anzahl kosmischer Eisenmassen gelangt, während es solche, deren Fall wirklich



Widmanstättensche Figuren im Meteoreisen.

beobachtet wurde, nur sehr wenige gibt (Hraschina bei Agram 1751, Tennessee 1835, Braunau in Böhmen 1845).

Es ist nicht nur ein geologisches Interesse, das sich an das Meteoreisen knüpft, sondern auch für den Kulturhistoriker ist dasselbe von Bedeutung; das Eisen, das für den Haushalt des Menschen wichtigste aller Metalle, kommt rein, gediegen, auf der Erde fast gar nicht vor, und die Gewinnung desselben aus seinen Erzen setzt schon einen verhältnismäßig hohen Kulturgrad voraus. Darum kam auch bei verschiedenen Völkern Bronze weit früher zur Verwendung und diente zur Herstellung mannigfaltiger Werkzeuge und Schmuckgegenstände. Nur das Eisen der Meteormassen ist dem Menschen von jeher leicht zugänglich gewesen, und in der That sehen wir, daß manche auf der niedersten Stufe stehende Stämme dasselbe verarbeitet haben; namentlich haben die Eskimos in Grönland außer dem Eisen, welches sie von gestrandeten Schiffen erhielten, auch solches von Meteorsteinen verarbeitet (s. Abbildung, S. 106), und ebenso kennt man Pfeilspitzen desselben Ursprungs von Madagaskar. Ja, es ist die Frage aufgeworfen worden, ob nicht die Menschheit überhaupt das Eisen und seine Verwendung zuerst durch die kosmischen

Eisenmassen kennen gelernt hat und erst durch diese dazu geführt wurde, es auch in seinen Erzen aufzusuchen.

So grundverschieden die Meteoreisen von den Meteorsteinen sind, so fehlt es doch nicht an verbindenden Übergangsgliedern. Zunächst finden sich Vorkommnisse, in denen Eisen die Grundmasse bildet, welche Kristalle und kristallinische Körner von Olivin, einem aus Magnesia und Kieselsäure bestehenden Mineral, umschließt. Der deutsche Naturforscher Pallas hat im vorigen Jahrhundert auf seinen großen wissenschaftlichen Reisen in Rußland den ersten und weitaus bekanntesten Repräsentanten dieses Typus in der Nähe von Krasnojarsk, nicht weit von den Ufern des Jenissei in Sibirien gefunden, wo die 1600 russische Pfund schwere Masse von den Umwohnern als ein vom Himmel gefallenes Heiligtum verehrt wurde. Dieses „Pallaseisen", von dem sich ein Stück auf der Tafel „Meteoriten" abgebildet findet, ist für die Geschichte der Wissenschaft von großem Interesse, weil Chladni durch dasselbe zu seinen epochemachenden Arbeiten über die Meteoriten veranlaßt wurde; man nennt diesen Typus der Meteoriten nach ihrem Entdecker „Pallasite".

Aus Meteoreisen geschmiedete Pfeilspitze von Grönland. Vgl. Text, S. 105.

Die Mesosiderite (d. h. zur Hälfte Eisen), körnige Gemenge von gediegenem Eisen mit Olivin oder anderen nichtmetallischen Mineralien, führen dann zu den eigentlichen Meteorsteinen über, in welchen gediegenes Eisen zwar meist noch vorhanden ist, aber nur in geringen, oft fast verschwindenden Mengen. Unter diesen Steinen bilden den häufigsten Typus die Chondrite, die aus einer mehr oder weniger feinkörnigen, oft einem vulkanischen Tuff ähnelnden grauen oder schwarzen Grundmasse bestehen, in welcher sehr eigentümliche und ihrer Entstehung nach noch nicht sicher erklärte Kugeln, ferner Körner von Olivin, Broncit, Nickeleisen 2c. liegen (s. Abbildung, S. 107). Mit irdischen Gebilden zeigen diese Chondrite keine genaue Übereinstimmung; um so mehr ist das aber mit einigen anderen Vorkommnissen, vor allen dem sogenannten Eukrit der Fall, der aus einem kalkreichen Feldspat, dem Anorthit, und aus Augit zusammengesetzt ist und sich ganz identisch unter den irdischen Gesteinen wiederfindet (z. B. in der Thjorsaa-Lava aus Island). Als wichtig ist ferner der Stein von Chassigny zu nennen, der aus Olivinfels mit eingesprengtem Chromeisenstein besteht und von weitverbreiteten irdischen Olivingesteinen kaum zu unterscheiden ist. Es würde zu weit führen, alle die einzelnen minder wichtigen Abänderungen hier aufzuzählen, welche in den Meteorsteinen auftreten. Wir wollen daher nur noch auf eine Art derselben aufmerksam machen, die sich von allen übrigen sehr stark unterscheidet und durch ihre Zusammensetzung von Interesse ist; es sind das die Kohlenmeteoriten, welche durch die Meteoritenfälle von Alais (1806) in Frankreich, von Cold-Bokkeveld im Kapland (1838), von Kaaba bei Debreczin in Ungarn (1857) und von Orgueil in Frankreich (1864) repräsentiert sind. Sie sind teilweise erdig-bröckelig und enthalten einen bedeutenden Anteil einer schwarzen Verbindung von Kohle mit Wasserstoff und Sauerstoff, deren Natur noch nicht genau ergründet ist.

Was aber dem Studium dieser Meteorgesteine das größte Interesse verleiht, das sind die Vergleiche mit den Gebilden unserer Erde, wodurch uns wichtige Aufschlüsse über manche Teile der Beschaffenheit unseres Planeten gegeben werden, über die wir keine direkten Beobachtungen anstellen können.

Wenn wir die einzelnen Bestandteile der Erde ins Auge fassen und deren Analoga an den Meteoriten aufsuchen, so fehlt natürlich alles, was an unsere Atmosphäre oder an die Wasserhülle des Meeres erinnern würde. Ebenso fehlen alle Vergleichungspunkte mit den aus Wasser abgesetzten fossilführenden Gesteinen, wie Kalk, Sandstein, Thon 2c. Speziell hat man nach

einem Beweis für die Existenz organischer Wesen an den Aerolithen mit allen möglichen Mitteln gesucht, aber immer ohne Erfolg, obwohl die kohligen Meteoriten einige Aussicht für die Auffindung der Spuren belebter Wesen zu bieten schienen[1]. Daß wir an den Meteoriten noch keine Spur von Organismen entdeckt haben, liefert allerdings noch keinen Beweis für das Fehlen derselben; wenn wir aber bedenken, daß diese Körper, ehe sie zu uns kamen, sich fern von der Sonne und anderen wärmespendenden Gestirnen im kalten Weltraum bewegten und selbst eine Temperatur hatten, die jedenfalls mehr als 100° unter dem Nullpunkt betrug, so ist wenig Wahrscheinlichkeit dafür vorhanden, daß sie von lebenden Wesen bevölkert waren; war ja doch der Stein von Quenggouk unmittelbar nach dem Fall im Inneren so kalt, daß er die Finger des Gefühls beraubte. Und wenn sie Organismen trugen, dann müssen die Existenzbedingungen für diese von denjenigen der irdischen Lebewesen so total verschieden gewesen sein, daß wir uns von ihnen nicht einmal eine Vorstellung machen können. Darum dürfen wir auch die an sich etwas abenteuerliche Vermutung, daß die ersten Organismen mit Meteoriten auf die Erde herabgekommen seien, als eine Unmöglichkeit bezeichnen. Auch Gesteine der Granitfamilie, welche auf der Erde in der Regel die Unterlage der geschichteten Felsarten bilden, kommen unter den Meteoriten nicht vor; wohl aber enthalten sie Olivin- und Anorthitgesteine, die bei uns nur als Produkte vulkanischer Ausbrüche an der Oberfläche vorhanden sind, während sie in der Tiefe vermutlich in großen Massen vorkommen.

Chondrit. Vgl. Text, S. 106.

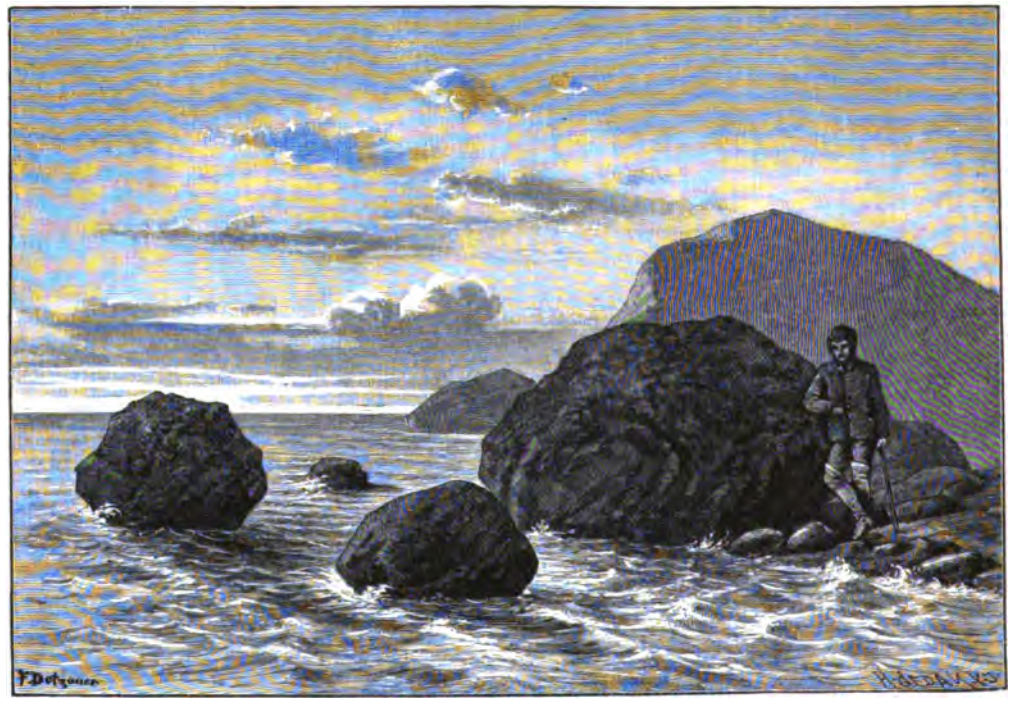
So weit bietet der Vergleich keine Schwierigkeiten; sehr verwickelte Probleme treten uns aber entgegen, wenn wir die Frage erwägen, ob auch die Eisenmassen der Meteoriten nahe Verwandtschaft mit Gesteinen haben, welche an dem Bau der Erde wesentlichen Anteil nehmen. Auf den ersten Blick scheint eine Antwort sehr leicht, da gediegenes Eisen zu den allerseltensten irdischen Vorkommnissen zählt, ja, bis vor gar nicht langer Zeit überhaupt als Bestandteil unseres Planeten nicht mit Sicherheit bekannt war. Trotzdem gibt es eine Reihe von Gründen, die vor einem raschen Schlusse in dieser Beziehung warnen. Wir werden später bei der Besprechung des Gewichts der Erde erkennen, daß dasselbe ein viel größeres ist, als es sein müßte, wenn diejenigen Gesteine, die wir äußerlich sehen, die ganze Masse unseres Planeten bildeten.

Es ist bekannt, daß verschiedene Stoffe bei gleichem Volumen verschiedenes Gewicht haben; gleichgroße Würfel von Holz, Marmor, Eisen sind ungleich schwer, diese Substanzen haben also verschiedene Dichtigkeit oder, wie der gewöhnliche Ausdruck lautet, verschiedenes „spezifisches Gewicht". Als gemeinsamer Maßstab für das spezifische Gewicht aller festen und flüssigen Körper wird dasjenige des vollständig reinen Wassers gewählt, von welchem 1 ccm 1 g wiegt; man bezeichnet nun die Dichtigkeit des Wassers als 1 und gibt von anderen Substanzen an, um wievielmal dieselben schwerer sind als dasselbe Volumen Wasser. 1 ccm Kalk wiegt 2,9 g, ist also 2,9mal schwerer als 1 ccm Wasser, und man sagt daher, Kalk hat das spezifische Gewicht 2,9; 1 ccm Gold wiegt 19,4 g, sein spezifisches Gewicht ist also 19,4.

---

[1] Ein in neuerer Zeit erschienenes großes Werk von Hahn sucht in den Chondriten durch mikroskopische Untersuchung Spuren verschiedener Organismen nachzuweisen, die sogar mit irdischen große Ähnlichkeit haben sollen (Schwämme, Korallen, Krinoiden). Die mitgeteilten Belege sind aber nicht derart, daß sie zu überzeugen im stande wären.

Durch sinnreiche Versuche ist es nun gelungen, das spezifische Gewicht unseres Erdkörpers annähernd zu bestimmen: man nimmt dasselbe jetzt zu 5,5 an, d. h. der Erdball ist 5½mal schwerer, als er wäre, wenn er ganz aus chemisch reinem Wasser bestünde. Nun hat aber keins von allen an der Zusammensetzung der Erde in großer Masse teilnehmenden Gesteinen ein so hohes spezifisches Gewicht aufzuweisen. Wenn wir jedoch anderseits die großen Hauptgruppen von Gesteinen, die den Hauptanteil am Aufbau der Erde nehmen, auf ihr spezifisches Gewicht prüfen, so finden wir, daß sie um so schwerer sind, je tiefer sie gegen das Erdinnere zu liegen (so haben die Sedimentgesteine im Durchschnitt ein spezifisches Gewicht von 2,6, Granit 2,7; beim Basalt steigt dasselbe auf 3, bei den Olivingesteinen auf 3,3—3,5). Die un-



Eisenblöcke von Ovifak. (Nach Nathorst.) Vgl. Text, S. 109.

mittelbare Folgerung aus diesem Verhalten ist offenbar, daß im Inneren der Erde, unter der Olivinregion, Massen von sehr viel bedeutenderem spezifischen Gewicht lagern müssen, da die Dichtigkeit der Erde als eines Ganzen 5,5 beträgt. Einer solchen Anforderung entsprechen nur die schweren Metalle, so daß jetzt von den Geologen ziemlich allgemein der Kern der Erde als aus solchen bestehend angenommen wird; und da unter diesen das Eisen weitaus das verbreitetste ist, so ist es in hohem Grade wahrscheinlich, daß ein großer Teil des Erdinneren aus gediegenem Eisen bestehe. Die Seltenheit gediegenen Eisens auf der Erdoberfläche erklärt sich aber einerseits dadurch, daß aus so großen Tiefen Eruptivmassen weit schwieriger nach außen gelangen, anderseits durch die geringe Erhaltungsfähigkeit des gediegenen Eisens in feuchter Luft, in welcher es leicht oxydiert.

Von hervorragender Bedeutung ist hier ein vor wenigen Jahren von dem berühmten schwedischen Forscher Nordenskjöld gemachter Fund, der die wissenschaftliche Welt in große Aufregung versetzte. Im Jahre 1870 berichtete Nordenskjöld, daß er an der Küste der grönländischen Insel Disko, an einem Ovifak oder Uigfak genannten Orte, einige riesige Eisenblöcke

gefunden habe, von welchen einer 21,000, ein anderer 8000 kg wiege (s. Abbildung, S. 108); in der Nähe ihres Fundortes befanden sich nach Angabe des Berichts zwei Gänge von Basalt, von welchen der eine Stücke von gediegenem Eisen umschloß, während überdies das Gestein feine Flitterchen von Eisen in großer Zahl führte. Die chemische Zusammensetzung des Metalls zeigte große Ähnlichkeit mit derjenigen der Meteoriten: es enthielt Nickel und war von Troilit (Einfach-Schwefeleisen) begleitet, das bisher nur aus Aerolithen bekannt war. Endlich waren einzelne Eisenstücke von einem Gestein umgeben, welches von dem sowohl meteorisch als irdisch vorkommenden Eukrit nicht zu unterscheiden war. Nordenskjöld hob sofort bei der Beschreibung hervor, daß dieses merkwürdige Vorkommen nur zwei Deutungen zulasse: entweder habe der Basalt bei seiner Eruption Teile von Eisenmassen aus dem Erdinneren losgerissen und dieselben an die Oberfläche mitgebracht, oder es habe zur Zeit der Basalteruption ein äußerst reicher Meteoritenfall stattgefunden, bei welchem die Eisenmassen und die Eukrite in die noch nicht erstarrten, weichen Basalte eingedrungen seien. In der Zwischenzeit war von der schwedischen Regierung eine neue Expedition nach Ovifak abgesandt worden, um die größten Blöcke abzuholen und eingehendere Studien an Ort und Stelle zu machen, zu welchen Nordenskjölds Zeit zu beschränkt gewesen war. Schon das Vorkommen kleiner Eisenpartikelchen in Form von Flimmern im Basalt war schwer mit dem meteorischen Ursprung vereinbar, vor allem aber war die Beobachtung von Steenstrup entscheidend, daß das Hauptvorkommen des Eisens sich auf Ovifak beschränkt, daß aber auch an anderen Punkten der Insel Disko die Basalte geringere Mengen von Eisen enthalten, welche offenbar nicht herabgefallen sein können. Das Eisen von Ovifak ist also ein losgerissenes Stück jener schweren Masse im Inneren der Erde, deren Vorhandensein das spezifische Gewicht unseres Planeten verraten hatte, und wir finden demnach unter den Meteoriten auch für diese tiefsten Teile der Erde eine schlagende Analogie in den Meteoreisen.

Es sind höchst wichtige Thatsachen, welche wir kennen gelernt haben: die Meteoriten lehren uns, daß auf den Gliedern der Kometenwelt dieselben Stoffe und großenteils dieselben Mineralien und Gesteine vorhanden sind wie auf der Erde, und zwar ist es nicht die Oberfläche unseres Planeten, welche Vergleichspunkte liefert, sondern es sind die Regionen der Tiefe; die Spektralanalyse zeigt uns das Vorkommen unserer irdischen Elemente auf der Sonne wie auf den Fixsternen und Nebelflecken, und so erkennen wir die Einheit der Materie im ganzen Weltall, soweit das Auge in seine Ferne zu dringen vermag.

---

2. Physische Beschaffenheit der Erde.

Inhalt: Gestalt und Größe der Erde. — Gewicht der Erde. — Temperatur im Erdinneren. — Die Dicke der Erdkruste und der Zustand des Erdinneren.

Gestalt und Größe der Erde.

In immer engere Kreise schränkt sich unsere Betrachtung ein. Hatten wir es anfangs mit der Gesamtheit der uns sichtbaren Körper im Weltraum, mit zahllosen fernen Nebelflecken und Sonnen zu thun, so konnten wir uns später mehr und mehr auf die Grenzen unseres Planetensystems beschränken; zu immer näher gelegenen Teilen desselben führte der Gang unserer Vergleiche, bis wir jetzt auf dem Punkte angelangt sind, wo wir uns dem Studium unserer Erde

allein widmen können. Ein Bild dieses Planeten in seinem jetzigen Zustand in kurzen Zügen vor Augen zu führen, ist die nächste Aufgabe: wir wollen uns die fertigen Verhältnisse vergegenwärtigen, deren Entstehung und Veränderung den Hauptgegenstand der geologischen Studien bilden.

Während die erste, halb kindliche Auffassung in der Erde eine flache, rings von dem Wasser des Ozeans umflutete Scheibe sah, brach sich schon im klassischen Altertum, wenigstens unter Gelehrten, allmählich die Ansicht von der Kugelform der Erde Bahn. An die Namen von Pythagoras, Parmenides, Archimedes, Ptolemäos knüpft der Ursprung und die erste Begründung dieser Lehre an, und im Zeitalter des Wiedererwachens der Wissenschaften im Abendland feiert diese Idee ihre Auferstehung. Die Überzeugung von ihrer Richtigkeit war es, welche Columbus zu seiner kühnen Fahrt nach dem unbekannten Westen führte, um auf diesem Wege Indien zu erreichen, und endlich lieferte die erste Weltumsegelung unter Magalhães den unumstößlichen und handgreiflichen Beweis für die Richtigkeit dieser Anschauung.

Nachdem die Annahme der Kugelgestalt einmal gegeben war, mußte sich dem forschenden Geiste des Menschen als eins der wichtigsten Probleme die Aufgabe darstellen, die Größe der Erdkugel zu bestimmen. Schon 200 Jahre vor unserer Zeitrechnung beschäftigte sich mit der Lösung derselben ein Mann, dessen Arbeit in dieser Richtung zu den glänzendsten Leistungen des Altertums auf dem Gebiet der Naturforschung gehört und ihrem Urheber einen unvergänglichen Namen in der Geschichte der Wissenschaft sichert. Eratosthenes aus Athen, ein Beamter der Bibliothek in Alexandria, war es, der zuerst mit genialer Auffassung, wenn auch den Berichten nach mit sehr unzulänglichen Mitteln, das unternahm, was wir heute eine Gradmessung nennen.

Es ist natürlich nicht möglich, die Größe der Erde direkt in der Weise zu bestimmen, daß ein größter Kreis rings um deren ganzen Umfang gemessen wird, sondern die Methode, welche eingeschlagen wird, ist derart, daß die geographische Lage zweier Orte astronomisch genau fixiert und dann der Abstand beider auf irgend einem Wege unmittelbar gemessen wird; daraus wird die Länge eines Grades, d. h. des 360. Teiles des Erdumfangs, und dadurch mittelbar dieser selbst berechnet. Eratosthenes maß die Länge des Schattens, die ein senkrecht in der Erde steckender Pfahl (Gnomon) zu Alexandria am längsten Tage des Jahres um Mittag warf, während bekannt war, daß gleichzeitig unter dem Wendekreise bei Syene, dem heutigen Assuân in Oberägypten, die Sonne senkrecht stand und demnach vertikal stehende Körper keinen Schatten warfen; aus dieser Beobachtung des Sonnenstandes ergab sich der Abstand Alexandrias vom Wendekreise, den Eratosthenes zu 7° 12′ berechnete. Auf der anderen Seite lieferten die äußerst sorgfältigen Katastervermessungen der ägyptischen Steuerbehörden eine direkte Bestimmung der Entfernung zwischen Alexandria und Syene, so daß also die Bedingungen für die Bestimmung der Länge eines Meridiangrades vorlagen. Eratosthenes berechnete diese Länge auf 700 Stadien, den ganzen Umfang der Erde demnach auf 360mal 700 = 252,000 Stadien. Die Länge des alexandrinischen Stadiums ist nach unserem heutigen Maß 158¼ m, und wenn man diesen Wert in die Berechnung des Eratosthenes einsetzt, so erhält man den Umfang der Erde gleich 5323 geogr. Meilen, ein Wert, der sich von dem wirklichen Umfang von 5400 Meilen so wenig entfernt, daß man über die mit so unvollkommenen Mitteln erzielte Genauigkeit staunen muß. Es ist allerdings richtig, daß diese Präzision bis zu einem gewissen Grade nur zufällig erreicht wurde, indem Fehler in der Bestimmung der geographischen Breite und in der Messung der Entfernung sich gegenseitig aufhoben; trotzdem aber ist die Annäherung an die richtige Größe eine ganz auffallende, und es fällt schwer, zu glauben, daß Eratosthenes wirklich zur Bestimmung der Breite von Alexandria nur die Schattenlänge eines senkrechten Pfahles gemessen habe, wie von Kleomedes berichtet wird.

Zwei weitere Gradmessungen, von denen die eine im Anfang des 9. Jahrhunderts von arabischen Astronomen auf Befehl des Kalifen Mamun, die andere von dem französischen Arzt und Mathematiker Fernel im Jahre 1525 zwischen Paris und Amiens vorgenommen wurde, zeigen keinen Fortschritt gegen Eratosthenes; ja, es wurde sogar mit ziemlich zutreffenden Gründen behauptet, daß in diesen beiden Fällen nur Täuschungen vorlagen und einfach die Angaben des alexandrinischen Gelehrten in modernere Maße umgerechnet wurden. Eine neue Epoche in der Geschichte der Gradmessungen datiert erst von den Arbeiten des Holländers Snellius her, der zuerst trigonometrische Messungen bei der Bestimmung des Erdbogens zwischen Bergen op Zoom und Alkmaar im Jahre 1615 und damit diejenige Methode einführte, welche noch heute im größten Maßstabe angewandt wird. Ihr Verfahren ist derart, daß zuerst eine Grundlinie oder Basis genau abgemessen wird. Wenn man nun von den beiden Enden derselben nach einem entfernten Punkte visiert, so erhält man ein Dreieck, in welchem eine Seite und die Winkel bekannt sind, Daten, aus denen man die beiden noch unbekannten Seiten leicht berechnen kann. Man hat nun schon drei Linien von bekannter Länge, und indem man von diesen aus wieder nach neuen Punkten visiert, die Dreiecke berechnet und diese Operationen immer wiederholt, kann man ein Netz von derartigen Dreiecken über ein ganzes Land ausdehnen und endlich den Abstand der Endpunkte der Gradmessung bestimmen. Nach diesen Operationen wird zum Schluß eine zweite Basis, nämlich eine der berechneten Dreiecksseiten, direkt gemessen, um die Genauigkeit des ganzen Verfahrens zu kontrollieren. So einfach diese Methode im Prinzip ist, so groß sind die Schwierigkeiten ihrer Ausführung; die unregelmäßige Gestalt der Erdoberfläche, die Einwirkung der Temperatur auf die Maßstäbe und eine Reihe anderer Fehlerquellen müssen berücksichtigt werden. Wenn man bedenkt, daß z. B. bei der Messung der Basis der spanischen Gradmessung, welche 14½ km lang ist, der Fehler wahrscheinlich nicht 3 mm beträgt, so genügt das wohl für den Beweis, daß die Ausführung einer solchen Arbeit, die den heutigen Anforderungen der Wissenschaft genügen soll, zu den schwierigsten und mühevollsten Aufgaben gehört, die im ganzen Bereich der Naturforschung vorkommen, und daß deren Bewältigung nur mit den allergrößten Mitteln möglich ist. Das Verdienst, die Methode von Snellius wesentlich verbessert und auf Grund derselben die ersten großartigen Leistungen erzielt zu haben, gebührt unbestritten den Franzosen. Zuerst waren es die von Picard in den Jahren 1669 und 1670 zwischen Amiens und Malvoisine vorgenommenen Messungen, welche große Bedeutung erlangten; etwas später wurde die Kette der französischen Triangulierung von Dünkirchen am Englischen Kanal bis zum Mittelmeer erweitert.

Bei allen Folgerungen aus den Gradmessungen war man anfangs von der Anschauung ausgegangen, daß die Erde regelmäßige Kugelgestalt besitze; allein bald kam man zu der Überzeugung, daß dies in Wirklichkeit nicht der Fall sei. Man hatte die Bemerkung gemacht, daß Pendeluhren, deren Pendel in unseren Breiten genau Sekunden schlugen, in äquatoriale Gegenden gebracht, sich langsamer bewegten, so daß das Pendel, um den richtigen Gang herzustellen, etwas gekürzt werden mußte. Die französische Akademie schickte eine Expedition unter Richer nach Cayenne, um diese Thatsache genau festzustellen, und es ergab sich in der That die Notwendigkeit, das Sekundenpendel um 1¾ Linien kürzer zu machen. Die Bewegungen des Pendels werden durch die Anziehungskraft der Erde bestimmt; ergibt sich an einem Orte eine Verzögerung der Bewegungen, so kann daraus geschlossen werden, daß die Schwere hier mit geringerer Energie das Pendel in seine Ruhelage zurückzuführen strebt, daß die Anziehungskraft eine geringere ist. Da nun die Intensität dieser letzteren mit der Entfernung vom Erdmittelpunkt abnimmt, so lag die Folgerung nahe, daß die Erde keine vollständige Kugel darstelle, sondern um den Äquator angeschwollen, an den Polen dagegen abgeplattet sei und ein sogenanntes Rota-

tionsellipsoid, etwa von der Form einer Pomeranze, darstelle. Zu demselben Resultat gelangten Newton und Huygens auf theoretischem Wege, indem sie von der Voraussetzung eines ursprünglich flüssigen oder wenigstens plastischen Zustandes der Erde ausgingen. Nach ihrer Ansicht mußte in jener Zeit, in welcher die Erde flüssig oder plastisch war, der Körper infolge seiner Rotation um die eigene Achse durch die Wirkung der Zentrifugalkraft die Gestalt eines Rotationsellipsoids annehmen. Hätte unsere Erde diese Form nicht wirklich, so müßte infolge der zentrifugalen Kraft wenigstens das Wasser sich um den Äquator ansammeln, die Länder müßten hier überschwemmt, die Polargegenden vollständig trocken gelegt sein.

Die damals ausgeführten Gradmessungen waren für die Entscheidung dieser Frage nicht ausreichend. Ist die Erde wirklich an den Polen abgeplattet, so muß ein Meridiangrad um so kürzer sein, je näher er dem Äquator liegt; die französischen Messungen ergaben aber im Gegenteil in Südfrankreich etwas längere Meridiangrade als in Nordfrankreich. Dies veranlaßte namentlich den französischen Astronomen Cassini zu energischer Opposition gegen die Auffassung von Newton und Huygens; er behauptete, daß im Gegenteil die Erde um den Äquator abgeplattet und an den Polen verlängert sei wie eine Zitrone. Die damaligen Methoden waren jedoch nicht hinreichend, um die Längenunterschiede bei so wenig auseinander liegenden Gegenden wie Nord- und Südfrankreich außer Zweifel zu stellen. Zur Schlichtung dieser sehr heftig geführten Kontroverse beschloß die französische Akademie, zwei Meridianbogen in weiter Entfernung voneinander, den einen nahe dem Äquator, in Peru, den anderen im hohen Norden, in Lappland, messen zu lassen. Bouguer und Condamine begaben sich zu diesem Zweck 1735 nach Quito, Maupertuis und Clairault 1736 nach Lappland und führten dort ihre epochemachenden Arbeiten aus, die zwar den heutigen Anforderungen an eine Gradmessung nicht mehr entsprechen, aber für die damaligen Verhältnisse treffliche Resultate ergaben und die Abplattung der Erde an den Polen außer Zweifel stellten. Die Länge eines Meridiangrades wurde in Lappland mit 57,437, in Peru mit 56,753 Toisen bestimmt (eine Toise = 6 Pariser Fuß). Weitere Fortschritte brachte die zweite französische Gradmessung mit sich. Im Jahre 1790 beschloß die französische Nationalversammlung die Einführung eines neuen Maßsystems, welches ein sogenanntes Naturmaß darstellen, d. h. eine von der Natur selbst gegebene Einheit als Grundlage haben sollte. Es wurde dazu der 40millionste Teil eines Erdmeridians gewählt und derselbe als Meter bezeichnet; daß das Meter, wie es damals festgestellt wurde, diese Größe nicht genau darstellt, und das metrische System also kein Naturmaß repräsentiert, ist eine Thatsache, und insofern ist der damalige Versuch gescheitert; aber die aus diesem Anlaß mit bedeutend verbesserten Mitteln ausgeführten Gradmessungen, welche sich von Dünkirchen bis Barcelona erstreckten, bilden einen bleibenden Gewinn für die Wissenschaft.

Seit jener Zeit haben die meisten Länder Gradmessungen durchgeführt; von der Südspitze von Europa bis zum Eismeer und von der atlantischen Küste bis zur Grenze Sibiriens erstrecken sich jetzt die gemessenen Dreiecke, und in Ostindien ist bereits ein großer Bogen bestimmt. Besonderen Aufschwung haben diese Arbeiten genommen, seit auf Anregung des Generals Baeyer in Berlin deren einheitliche Leitung von der internationalen europäischen Gradmessungskommission in die Hand genommen worden ist. Obwohl die Genauigkeit der Messungen stetig zunahm und diese selbst immer weiter ausgedehnt wurden, entsprachen die Resultate keineswegs den gehegten Erwartungen. Statt zunehmender Annäherung stellten sich im Gegenteil bedeutende Abweichungen heraus, und noch mehr erhöhte sich die Differenz durch das Heranziehen jener Werte, welche auf dem Wege der Pendelbeobachtungen gewonnen wurden. Letztere ergaben eine Abplattung an den Polen von $^1/_{288}$; dagegen erhielt Bessel 1841 durch Berechnung aus den 10 zuverlässigsten damals bekannten Gradmessungen folgende Werte:

Halbmesser der Erde vom Mittelpunkt zum Äquator	6,377,379 m
Halbmesser der Erde vom Mittelpunkt zum Pol	6,356,079 m
Abplattung an den Polen jederseits	21,318 m = $^1/_{299}$

Im Jahre 1878 gelangte Clarke nach allen damals bekannten guten Messungen zu folgenden Zahlen:

Äquatorialhalbmesser	6,378,190 m
Polarhalbmesser	6,356,455 m
Abplattung	21,735 m = $^1/_{293}$

Diese Abweichungen sind scheinbar nicht sehr bedeutend, aber wenn man bedenkt, daß eine Verschiedenheit in der Länge des Erdradius von einem Meter eine Änderung von fast 3 Quadratmeilen in der Größe der Erdoberfläche mit sich bringt, muß man gestehen, daß dieselben doch eine tiefere Bedeutung haben. Offenbar handelte es sich weniger um Ungenauigkeiten der Messungen und Berechnungen, sondern es drängte sich immer mehr die Überzeugung auf, daß die Verhältnisse der Erdoberfläche selbst diese Abweichungen bedingen.

Bei allen geodätischen Ermittelungen spielt eine maßgebende Rolle die Lage der Fall- oder Lotlinie; diese dachte man sich an jedem Punkte der Erde senkrecht zur angenommenen Ideal-Oberflächengestalt, da man sich die Massenverteilung in der Erde als regelmäßig vorstellte. In Wirklichkeit trifft dies aber durchaus nicht zu. Über die Massenverteilung im Inneren können wir zwar nur auf Grund von Rechnung und Erwägung Hypothesen aufstellen, aber was die Oberfläche im Bereich der unmittelbaren Forschung betrifft, so sehen wir hier sofort gewaltige Unterschiede in der Auftragung der Massen: große Kontinente mit hohen Gebirgen, Hoch- und Tiefebenen wechseln mit tiefen ozeanischen Becken, und die ersteren bestehen aus festen Massen, welche durchschnittlich 2,6—2,8mal so dicht sind wie die Gewässer der letzteren; dazu kommen noch verschiedene lokale Verhältnisse, so daß sich schon aus dieser Erwägung ergibt, daß die wahren Lotlinien fast niemals mit den Normalen des angenommenen Erdellipsoids streng zusammenfallen werden. Nun wurde namentlich von P. Fischer darauf gedrungen, die thatsächliche Massenverteilung zu berücksichtigen. Man glaubte namentlich im folgenden Verhältnis eine grobe Fehlerquelle entdeckt zu haben. Bekanntlich werden für die Berechnung der Gradmessungen alle Resultate auf das Niveau des Meeresspiegels bezogen, welchen man als Rotationsellipsoid betrachtete; denkt man sich alle Kontinente von einem Netzwerk von Kanälen durchzogen, welche mit dem Meere in offener Verbindung stehen, so würde auch in ihnen das Wasser überall in demselben Niveau stehen; auf diese ideale Oberfläche wurden alle Messungen eingetragen. Unter der Voraussetzung, daß das küstennahe Meer durch die Festlandsmassen eine gewaltige Anziehung erfahre, würde aber der Meeresspiegel samt den gedachten Kanälen nicht mehr dem Rotationsellipsoid entsprechen, und die Nullpunkte müßten an verschiedenen Küsten je nach dem Grade der Anziehung eine verschiedene Höhe einnehmen. Die Pendelbeobachtungen auf den isolierten ozeanischen Inseln schienen diese Voraussetzung zu bestätigen. So macht das Sekundenpendel auf den Bonin-Inseln 14,2 Schläge mehr in einem Tage, als man nach der geographischen Lage annehmen sollte, auf Ualau 12,6, auf St. Helena 10,3, Isle de France 9,9, Fernando Noronha 9,4 ꝛc., während an kontinentalen Küstenstationen die Zahl der Schläge im Gegenteil den vermuteten Betrag nicht erreicht. Man konnte dies nur dadurch erklären, daß die ozeanischen Inseln dem Erdmittelpunkt näher liegen als die Küstenstrecken, und erblickte darin eine Äußerung der kontinentalen Anziehung auf das Meerwasser. Aus diesem Grunde, befürchtete man, müßte allen unseren Messungen die reelle Grundlage entzogen sein. Diese Befürchtungen haben sich nun als übertrieben, ja als völlig gegenstandslos erwiesen. Neuere Präzisions-Nivellements in Verbindung mit älteren Messungen lassen es z. B. als zweifellos erscheinen, daß die Europa umgebenden Meere ein und derselben Niveaufläche angehören. Der Grund aber dieser anscheinen-

den Wirkungslosigkeit der Kontinentalmassen wurde durch die genauen Schweremessungen der neuesten Zeit ermittelt.

Man hatte schon früher die Wahrnehmung gemacht, daß die durch Beobachtungen erzielten Lotabweichungen zumeist nicht im Verhältnis stehen zu den sichtbaren Massenanhäufungen: sie sind in den Gebirgen meist viel zu gering. Dies war für den Himalaja, für die Pyrenäen und den Kaukasus bekannt, ebenso zeigte sich in München trotz der Nähe der Alpen keine wesentliche Lotabweichung, und bei Pisa und Florenz übte das Apenninen-Gebirge gar eine abstoßende Wirkung auf die Lotlinie. Die genauen, mit einem verbesserten Pendelapparat durchgeführten Schwerebestimmungen, welche R. von Sterneck kürzlich in Tirol und anderen Teilen der Alpen, in Böhmen und in den Karpathen vorgenommen hat, führten vollends zu überraschenden Resultaten. Durch rechnerische Verwertung derselben konnte Helmert den Satz aussprechen, daß die Wirkung der Kontinentalmassen mehr oder weniger kompensiert wird durch eine Verminderung der Dichtigkeit der Erdkruste unterhalb der Kontinentalmassen. Den sichtbaren äußeren Massenanhäufungen der Gebirge und Kontinente entsprechen innen Massendefekte oder Massenabgänge, und je bestimmter sich die Richtigkeit dieses Ergebnisses durch fortgesetzte Untersuchungen erwies, um so näher und glaubwürdiger erschien die Annahme, daß anderseits unter dem Meeresboden eine Verdichtung der Masse stattfinde, eine Annahme, welche die Pendelerscheinungen auf den ozeanischen Inseln erklärt. Vertikale Prismen von gleichem Querschnitt, welche wir uns von einer gewissen Tiefe unter dem Meeresspiegel bis zur physischen Oberfläche aus der Erde herausgeschnitten denken, müssen demnach annähernd gleiche Massen enthalten, wo auch immer man die Prismen annehmen möge. Die Erkenntnis dieses Kompensationsgesetzes der Massenverteilung ist ohne Zweifel darnach angethan, unser Vertrauen zu den geodätischen Messungen zu erhöhen, denn es bleiben nun, abgesehen von den Beobachtungsfehlern, nur jene Unregelmäßigkeiten zurück, welche sich als Folge der wechselnden Unvollkommenheit der Kompensation von einem Punkte zum anderen einstellen werden. Da aber diese letzteren nach allen unseren Erfahrungen nicht sehr bedeutend sein können, so ergibt sich, daß die wahre Niveaufläche der Erde oder die Geoidfläche, welche auf allen wirklichen Lotrichtungen senkrecht steht, von dem idealen Rotationsellipsoid nicht sehr wesentlich verschieden sein kann. Über den Betrag der Abplattung können wir auch heute noch nichts Bestimmteres angeben, als daß derselbe zwischen $^1/_{298}$ und $^1/_{300}$ gelegen sein dürfte. Die Geoidfläche wird sich je nach der Verteilung der Massen bald etwas über das Ellipsoid heben, bald ein wenig unter dasselbe senken, aber die Beträge, um welche es sich hierbei handelt, werden verhältnismäßig geringfügig sein. Durch den Fortschritt der geodätischen Messungen und der Schwere-Ermittelungen werden wir immer mehr und mehr Punkte in dieser Richtung kennen lernen, aber zu einem streng mathematischen einfachen Ausdruck für das Geoid werden wir trotzdem niemals gelangen können, da die Verteilung der Masse nicht auf Grund eines einheitlichen Bildungsgesetzes erfolgte, sondern das Resultat von höchst komplizierten, durch viele Perioden der Erdgeschichte sich fortziehenden und auch heute noch stattfindenden geologischen Vorgängen bildet.

Haben uns demnach die neueren Arbeiten der Geodäten der Feststellung der Form und Größe der Erde noch nicht so nahe gebracht, als man vielleicht vor Jahren vorausgesetzt hat, so haben sie doch anderseits eine weit über das ursprüngliche Ziel hinausgreifende Bedeutung dadurch gewonnen, daß sie uns durch Aufhellung der Schwere-Differenzen Verhältnisse kennen gelehrt haben, „welche zu den wenigen wirklich bewiesenen Thatsachen zu zählen sind, die uns überhaupt über die Konstitution der Erdrinde bis jetzt bekannt sind". Auf die Bedeutung dieser Thatsachen werden wir weiter unten noch näher einzugehen haben.

Gewicht der Erde.

Ist es schon ein kühnes und großes Unternehmen, wenn der Mensch den gewaltigen Erdball bis auf geringe Größen genau zu messen versucht, so erscheint es wenigstens auf den ersten Blick fast eine unmögliche Aufgabe, die ganze Erde zu wägen, ihr Gewicht und ihre Dichtigkeit zu bestimmen. Trotzdem ist die Lösung auch dieses Problems mit Erfolg in Angriff genommen worden, und obgleich durchaus genaue Resultate noch nicht erzielt sind, so nähert man sich doch augenscheinlich der Wahrheit mehr und mehr. Die hierbei angewendeten Methoden sind sehr verschieden; die ersten Untersuchungen wurden von Hutton und Maskelyne in den Jahren 1774 bis 1776 in Schottland angestellt. Oben wurde erwähnt, daß Gebirge durch die Anziehung ihrer Masse ein frei herabhängendes Lot etwas aus der senkrechten Lage ablenken; wenn nun der Betrag dieser Ablenkung sowie die Masse des Gebirges bekannt sind, so kann daraus das Gewicht der Erde, das ja die senkrechte Stellung des Lotes bewirkt, berechnet werden. Hutton und Maskelyne wählten für ihre Experimente den isolierten Berg Shehallien in der Nähe von Perth in Schottland; der Körperinhalt desselben wurde gemessen und daraus mit Hilfe der annähernd bekannten Dichtigkeit der Gesteine das Gewicht des ganzen Berges bestimmt. Nun wurde nördlich und südlich vom Shehallien das Lot beobachtet und dessen Abweichung von einer durch astronomische Beobachtung festgestellten Senkrechten auf beiden Seiten gemessen. Damit waren die Elemente für die Berechnung der gesuchten Größe gegeben, und das Resultat war, daß die Erde als Ganzes 4,7mal schwerer sei als eine gleichgroße Kugel aus reinem Wasser, oder, mit anderen Worten, das spezifische Gewicht oder die Dichtigkeit der Erde wäre demnach 4,7mal größer als die des Wassers. Dieses Resultat ist allerdings wohl noch kein sehr genaues, denn eine Wiederholung desselben Verfahrens am Berge Arthur's Seat bei Edinburg durch James im Jahre 1856 ergab die mittlere Dichte der Erde zu 5,3, und wiewohl sich diese letztere Angabe der Wahrheit jedenfalls mehr nähert als die frühere, kann doch die ganze Methode der Bestimmung mittels Beobachtung der Lotablenkung durch Berge nicht als sehr zuverlässig und präzis gelten, da die Ausmessung des Kubikinhalts eines großen Berges, die Bestimmung der Lage seines Schwerpunkts und der Dichtigkeit der Gesteine, die ihn zusammensetzen, nie mit großer Genauigkeit möglich sind.

Dasselbe gilt auch von einer zweiten Methode, welche das Gewicht der Erde dadurch zu bestimmen sucht, daß die Veränderungen der Schwere auf den Höhen von Gebirgen oder in den Tiefen von Bergwerken durch die Zahl der Schwingungen eines Pendels gemessen werden; auch hier sind die Resultate wenig zuverlässig. Die besten Ergebnisse hat bis jetzt ein drittes Verfahren geliefert, welches zuerst von Cavendish, später von Baily, Cornu und Reich angewendet wurde. An beiden Enden eines ganz gleichmäßig gearbeiteten hölzernen Stabes werden genau gleiche Kugeln befestigt und das Ganze in der Mitte an einem Faden in der Weise aufgehängt, daß der Stab vollständig wagerecht liegt. Man nähert nun den zwei an den Enden befindlichen Kugeln Bleimassen, die im Verhältnis ihrer Schwere die Kugeln anziehen, wodurch der Stab etwas aus seiner Gleichgewichtslage gebracht werden und sich um den Faden drehen wird, an dem er aufgehängt ist. Das Gewicht der anziehenden Bleimassen ist bekannt, und die Intensität ihrer Anziehung auf die Kugeln kann gemessen werden; ebenso kennt man die Anziehung, welche die Erde auf die beiden Kugeln ausübt, d. h. das Gewicht dieser letzteren, und kann nun aus diesen Daten die Masse der Erde berechnen. Die Ergebnisse der Versuche weichen verhältnismäßig nur wenig voneinander ab; Cornu, der zuletzt und mit wesentlich verbesserten Mitteln seine Arbeiten machte, fand die Erde 5,56mal schwerer als eine gleichgroße Kugel von Wasser, also ihre Dichte = 5,56, und diese Zahl wird jetzt in der Regel

angenommen. Neuerdings haben auch Jolly in München und Poynting in Manchester angefangen, das Gewicht der Erde mit der Wage in der Weise zu bestimmen, daß die Gewichtszunahme beobachtet wird, die eine Wagschale erleidet, wenn eine Bleikugel unter dieselbe gebracht wird; Poynting bestimmte auf diesem Wege die Dichte der Erde zu 5,69, Jolly zu 5,692. Wilsing gründete eine weitere Methode der Dichtebestimmung auf die Beeinflussung, welche ein Pendel in seinen Schwingungen durch eine benachbarte anziehende Masse erfährt. Als letztere wurden zwei Cylinder aus Gußeisen von je 325 kg Schwere gewählt. Diese, wie es scheint, sehr vertrauenswerte Methode ergab die Dichte von 5,59. In neuester Zeit gelangte Sterneck zu der Ziffer 5,7, Harkneß zu 5,58.

Die bedeutende Schwere der Erde ist eine Thatsache von größter Wichtigkeit; um ihre Bedeutung zu verstehen, müssen wir die Erdschwere mit dem spezifischen Gewicht verschiedener Körper vergleichen: die Dichte derjenigen Gesteine, welche die Erdkruste zusammensetzen, ist eine weit geringere und kann im Mittel höchstens auf 2,7 angeschlagen werden; Kalke und Dolomite, Thone, Sandsteine, Granite, Porphyre, Trachyte, Basalte, kristallinische Schiefer bleiben fast alle in ihrem spezifischen Gewicht unter der Zahl 3 zurück, die meisten derselben sogar sehr erheblich, nur gewisse Basalte steigen etwas höher. Selbst Magneteisenstein zeigt noch geringere Dichte (4,9—5,2) als die Erde, und erst die schweren Metalle übertreffen sie. Wenn demnach die Massen, welche die Kruste bis zu beträchtlicher Tiefe zusammensetzen, so viel leichter sind, dann ergibt sich der natürliche Schluß, daß in größeren Tiefen der Kern der Erde aus sehr schweren Körpern, aus Metallen bestehe. Wir haben oben gesehen, daß der Vergleich der Meteoriten mit der Erde, das Vorkommen meteorischer Eisenmassen und deren Verwandtschaft mit dem eruptiven Eisen von Ovifak in Grönland uns auf das Vorhandensein großer Mengen dieses Metalls im Erdinneren hinweisen; ja, vielleicht finden sich gegen das Innere der Erde sogar Anhäufungen von edlen Metallen, den schwersten Körpern, die wir überhaupt kennen[1].

Temperatur im Erdinneren.

Nach den vorausgegangenen Darlegungen müssen große stoffliche Verschiedenheiten zwischen Kruste und Kern der Erde herrschen, allein die Gegensätze zwischen beiden beschränken sich nicht darauf, es müssen solche auch in den physikalischen Verhältnissen in beträchtlichem Maße vorhanden sein. Vor allem anderen sind hier die Temperaturverhältnisse von Wichtigkeit, und alle Beobachtungen weisen darauf hin, daß eine Wärmezunahme nach der Tiefe stattfinde. Die Vulkane bringen geschmolzene Gesteinsmassen aus dem Schoße der Erde und verraten uns das Vorhandensein einer hohen Temperatur im Inneren; die heißen Quellen, die an zahllosen Stellen dem Boden entsteigen, müssen aus Regionen stammen, in denen bedeutende Wärme vorhanden ist. Allein wenn diese Zeugen auch die Thatsache unwiderleglich beweisen, so gestatten sie uns doch das nicht, worauf es vor allem ankommt: die genaue Bestimmung des Betrags, um welchen die Temperatur beim Hinabsteigen in die Tiefe sich erhöht. Die Möglichkeit für messende Beobachtungen erhalten wir in Bohrlöchern, Bergwerken und großen Tunnelanlagen; alle derartigen technischen Unternehmungen sind daher, wenn sie in bedeutendem Maßstabe ausgeführt werden, für die genauere Kenntnis der Wärmeverhältnisse im Erdinneren von großer Wichtigkeit.

[1] Diese sehr allgemein angenommenen Schlüsse berücksichtigen allerdings nicht, daß unter dem in großen Tiefen herrschenden Drucke auch andere Körper, selbst Gase, ein derartiges Gewicht erlangen können.

Die Temperatur der obersten Lagen der Erdrinde ist lediglich von derjenigen der Atmosphäre abhängig. Dicht unter der Oberfläche ist der Boden bis zu einer je nach den Gegenden verschiedenen Tiefe im Sommer warm, im Winter kalt; aber bald kommt man in eine Lage, in welcher der Einfluß der Jahreszeiten sich nicht mehr geltend macht; sie zeigt ungefähr die mittlere Jahrestemperatur des betreffenden Ortes ohne irgend welche Schwankungen. Das bekannteste Beispiel für dieses Verhalten bietet der Keller der Pariser Sternwarte, in dem ein von Lavoisier im Jahre 1783 in einer Tiefe von 27,6 m aufgestelltes Thermometer seit hundert Jahren unverändert 11,6° C. zeigt. In den heißen äquatorialen Ländern, in welchen die Wärmeunterschiede während des Jahres zwischen weit engeren Grenzen schwanken als bei uns, gelangt man schon bei etwa 6 m in diese unveränderliche Schicht. Gegen die Pole zu ist der Boden bis in sehr beträchtliche Tiefe gefroren. In Europa nimmt der nordische Eisboden allerdings nur eine sehr geringe Ausdehnung ein, indem er bloß den nördlichsten Rand des Kontinents umfaßt; in Asien senkt er sich dagegen, je weiter man nach Osten vorschreitet, desto mehr nach Süden, so daß er am Baikalsee noch unter 53°, am Amur unter 50°, d. h. in der geographischen Breite von Frankfurt a. M., vorhanden ist. Auch im östlichen Nordamerika erstreckt er sich an der Hudsonbai fast ebensoweit nach Süden. Über die Tiefe, bis zu welcher das Eis in den Boden reicht, gibt eine in Ostsibirien bei Jakutsk an der Lena unternommene Brunnengrabung Aufschluß, bei welcher noch in 116½ m Tiefe eine Temperatur von —3° C. gefunden wurde.

Wenn man aus jener Bodenlage, die unveränderlich die mittlere Jahrestemperatur der Atmosphäre des betreffenden Ortes zeigt, mit einem Schacht oder einem Bohrloch in die Tiefe steigt, so findet man stets zunehmende Wärme; die ersten Mitteilungen über diesen Gegenstand findet man in dem „Mundus subterraneus“ („Die unterirdische Welt“) des gelehrten Jesuiten Kircher aus Fulda. Dieses interessante Werk, in dem man, wie schon in der Einleitung hervorgehoben worden ist, ein merkwürdiges Gemisch von tiefer Gelehrsamkeit und richtiger Auffassung mit einem auffallenden Zurückbleiben und Ankämpfen gegen manche große Fortschritte der Wissenschaft findet, ist im Jahre 1662 erschienen; in dem zehnten Buche, worin das Vorkommen und die Verarbeitung der Metalle behandelt werden, gibt der Verfasser an, daß ihm bei der Behandlung dieses Gegenstandes große Schwierigkeiten aufgestoßen seien; er habe sich daher durch Vermittelung einiger Jesuiten in Neusohl an die Ingenieure der ungarischen Bergwerke gewendet, „welche an Berühmtheit nirgends in der Welt übertroffen werden“, und ihnen eine Anzahl von Fragepunkten vorgelegt. Die elfte unter diesen Fragen bezieht sich auf „Hitze und Kälte in den Bergwerken“, ob die Wärme mit der Tiefe zunehme, und ob man unterirdisches Feuer bemerke. Aus Schemnitz traf die Antwort ein, bei guter Ventilation sei weder übermäßige Hitze noch Kälte zu bemerken, wohl aber seien die Gruben bei mangelnder Luftzirkulation immer warm. Von besonderem Interesse ist die Antwort von Johann Schapelmann in Herrengrund: er gibt an, daß in trockenen Bergwerken die Temperatur stets nach der Tiefe steige; wo dagegen Wasser „zusitze“, sei die Wärme geringer (weil das von der Oberfläche einsickernde Wasser abkühlt); am heißesten seien solche Strecken, in welchen Markasit vorkomme[1]. Auch aus dem Anfang des vorigen Jahrhunderts liegen einige Beobachtungen von Boerhave und Mairan über diesen Gegenstand vor, aber erst mit dem letzten Dezennium des vorigen und dem Anfang dieses Jahrhunderts beginnen genaue Untersuchungen in großer Zahl. Es waren Freiesleben und A. von Humboldt in Sachsen, Saussure in der Schweiz und d'Aubuisson in Frankreich, welche vorangingen, und seither ist die Zahl der Temperaturbeobachtungen in

[1] Der Markasit, eine Verbindung von Schwefel und Eisen, oxydiert an der Luft, er nimmt Sauerstoff auf und wird zu schwefelsaurem Eisenoxydul, ein Prozeß, bei welchem Wärme erzeugt wird.

Bergwerken eine außerordentlich große geworden; namentlich sind die Untersuchungen in Preußen, die von Dechen bekannt machte, sowie diejenigen von Reich in Sachsen von Wichtigkeit gewesen.

Annähernde Resultate erhält man schon durch die Messung der Temperatur der Luft in den vom Ausgang entferntesten Teilen der Gruben oder der Temperatur der Wasser, die sich stellenweise ansammeln; auf wirkliche Genauigkeit haben jedoch nur solche Beobachtungen Anspruch, durch welche die Wärme des Gesteins festgestellt wird, eine Operation, die mancherlei Vorsicht notwendig macht. Um ganz gute Ergebnisse zu erhalten, muß man dieselbe in einer erst ganz neu eröffneten Strecke vornehmen, in welcher die Gesteinstemperatur durch die Luft noch nicht wesentlich beeinflußt ist; wie groß die Differenzen sein können, welche durch diese Operation erzielt werden, zeigt die Kohlengrube von Bucknall in England, in der die Kohle zur Zeit der Eröffnung 22°, zehn Monate später dagegen nur noch 15° Wärme hatte. Die Thermometer werden möglichst tief in Bohrlöcher eingesenkt, die eigens zu diesem Zwecke senkrecht in die Oberfläche des Gesteins getrieben werden; da jedoch beim Bohren Wärme erzeugt wird, so muß man mit den Beobachtungen noch einige Zeit warten, bis sich das Loch wieder abgekühlt hat; ferner muß das Thermometer mit möglichster Sorgfalt vor aller Lufteinwirkung geschützt werden, und so kann man dann zwar nicht vollständig richtige, aber doch von der wahren Temperatur nur noch sehr wenig entfernte Werte erhalten.

Die Zahlen, welche sich auf diese Weise ergeben, zeigen die größten Abweichungen; als ein allen gemeinsames Resultat kann nur bezeichnet werden, daß die Temperatur in der Tiefe, abgesehen von den durch Luft- und Wasserzutritt hervorgerufenen Unregelmäßigkeiten, konstant ist, und daß stets eine Wärmezunahme nach der Tiefe stattfindet; um miteinander vergleichbare Größen zu erhalten, berechnet man für jeden einzelnen Fall, wie tief man niedersteigen muß, um eine Vermehrung der Temperatur um 1° C. zu erhalten, und erhält so einen Betrag, den man als die „geothermische Tiefenstufe" (γῆ [gae], die Erde, und θέρμος [thermos], die Wärme) bezeichnet. In den preußischen Bergwerken fand man den höchsten Betrag dieser Stufe mit 115,3 m, den niedrigsten mit 15,5 m, im Mittel mit 54,3 m, während sich in Sachsen als Durchschnitt 41,8 m ergab; Berichte aus Schemnitz aus dem Jahre 1877 schwanken zwischen 30,3 und 51,1 m in verschiedenen Schächten und ergeben im Mittel 41,4 m. Auffallend klein war die Tiefenstufe in einem Kohlenbergwerk bei Monte Massi in Toscana, wo die Temperatur schon für je 13,7 m um 1° steigt; in einem Bohrloch zu Neuffen in Württemberg, das bis zu 339,5 m hinabreichte, fand Graf Mandelsloh sogar eine Tiefenstufe von 11 m. In den Goldgruben am Comstockgang in Nevada hat man in 610 m Tiefe 40° Lufttemperatur, während der Adalbertschacht zu Přibram in Böhmen bei 889 m eine Gesteinstemperatur von 21,8° und eine Lufttemperatur von 17° zeigt. Auch in einem und demselben Bergwerk ist mitunter die Zunahme eine äußerst unregelmäßige; so zeigt die Rosebridgegrube in England in ihren oberen Teilen eine Tiefenstufe von 47,2 m; dieselbe sinkt dann auf 18,1 m und steigt schließlich wieder auf 29,6 m, während die ganz nahe liegende Duckfieldgrube, ein Kohlenbau wie jene, in ihrem Gesamtverlauf bei einer Zunahme von 1° auf 45,8 m verharrt. J. Libert fand neuestens in der Sainte Henriette-Grube im Monsdistrikt bis zu 675 m die Tiefenstufe von 36—38 m, von 675—1150 m dagegen die Tiefenstufe von 22,6 m; das Durchschnittsresultat war 29,67 m, und mit diesem Werte stimmt sowohl die von Cornet in den Kohlengruben des Monsdistrikts in Belgien gewonnene Zahl von 29,65 sehr gut überein als auch die Untersuchungen von Prestwich in englischen und belgischen Kohlengruben, die zu einer Durchschnittsziffer von 27,18 m auf 1° C. geführt haben. Im ganzen kann als Regel gelten, daß die Temperatur in Kohlenbergwerken nach der Tiefe zu sich rascher steigert als in Erzbergbauen, eine Erscheinung, die offenbar durch die in der Kohle fortwährend vor sich gehenden chemischen Vorgänge verursacht wird; unter den

Erzgängen haben diejenigen, in welchen leicht oxydierbare Schwefelmetalle vorkommen, die höchste Temperatur.

Unter besonderen Verhältnissen steht die Wärmeverteilung in den berühmten Kupfergruben am Oberen See in Nordamerika. Der wärmeentziehende Einfluß des riesigen Wasserbeckens, welches an seinem Grunde stets eine Temperatur von 4° C. hat und daher wie ein kalter Umschlag wirkt, macht sich in den Gruben auffallend bemerkbar. Je näher diese dem See gelegen sind, um so langsamer ist die Temperaturzunahme gegen innen. Während unter gewöhnlichen Umständen die geothermische Stufe für 1° F. durchschnittlich ungefähr 16,5 m beträgt, steigt sie in der 8 km vom See entfernten Osceola-Grube auf 23,3 m und in den näher gelegenen Bergwerken auf 30,5, ja selbst auf 37,2 m. Nach Wheeler dürfte sich der abkühlende Einfluß des Sees erst in einer Entfernung von ungefähr 12—13 km verlieren.

Eine weitere Reihe von Beobachtungen liefern die artesischen Brunnen, die uns die Temperatur anzeigen, welche das Wasser in einer gegebenen Tiefe besitzt; sie zeichnen sich vor den Resultaten, die man aus Bergwerken erhält, durch weit geringere Unregelmäßigkeiten und durch relativ raschere Zunahme der Wärme nach der Tiefe aus. Einige der wichtigsten Resultate aus der Beobachtung artesischer Brunnen sind in der folgenden Tabelle mitgeteilt:

Ort der Bohrung	Erreichte Tiefe in Metern	Temperatur des austretenden Wassers	Geothermische Tiefenstufe in Metern
Grenelle bei Paris	547	27,7°	32,6
St. André bei Paris	253	—	30,7
Rüdersdorf bei Berlin	696	33,6°	26,9
Neusalzwerk (Westfalen)	671	34°	29,6
Rouen	—	—	28,5
Mondorf	—	—	28,6
Pitzpuhl bei Magdeburg	—	—	25,1
La Rochelle	—	—	19,0
Artern in Thüringen	—	—	37,7
Bootle, Wasserwerk Liverpool . . .	434,1	—	71,3
Scarle, Lincoln	609	—	37,8
Kentish-Town	307	—	36,8
Sudenburg bei Magdeburg	568	—	32,3
Sennewitz bei Halle	1084	—	36,6
Lieth bei Altona	1259	—	35
Sulz am Neckar	710	—	24

Von wesentlicher Bedeutung für die Kenntnis der Temperaturzunahme nach der Tiefe sind mehrere großartige technische Unternehmungen der neuesten Zeit geworden, bei welchen die Wärmeverhältnisse mit großer Sorgfalt beobachtet wurden; die tiefsten Bohrlöcher und die längsten Tunnels der Erde sind es, welche Erfahrungen für die Erweiterung der Wissenschaft geliefert haben. Bei Sperenberg, 42 km südlich von Berlin, befindet sich am Ufer eines kleinen Sees, des Krummensees, eine 26,7 m hohe Bodenanschwellung, welche aus Gips besteht, in der Mitte der Ebene. Der Umstand, daß unter dem norddeutschen Flachland Gips vielfach in Verbindung mit Steinsalz auftritt, gab Anlaß, hier ein Bohrloch in die Tiefe zu treiben, das 1867 in der Sohle eines verlassenen Gipsbruches angesetzt wurde; man durchsank zuerst 0,63 m Schutt, dann 88,18 m Gips und Anhydrit, hierauf wurde reines Steinsalz erreicht, in welchem das Bohrloch 1182,64 m tief weiter getrieben wurde, ohne die ganze Salzmasse zu durchdringen und die Unterlage, „das Liegende", zu erreichen. Zwar war das Vorhandensein eines ungeheuern Reichtums

an Salz schon bei geringerer Tiefe konstatiert, allein aus Rücksicht auf die wissenschaftliche Bedeutung des Unternehmens hatte man die bedeutenden Kosten einer so tiefen Bohrung nicht gescheut; im September 1871 wurde in einer Gesamttiefe von 1272 m die Arbeit abgebrochen. Die Bohrung von Sperenberg wurde bald durch die von Lieth bei Altona überholt, welche eine Tiefe von 1338 m und eine Endtemperatur von 35,07° erreichte, und in eine noch größere Tiefe, bis zu 1748,40 m, wurde das Bohrloch von Schladebach bei Dürrenberg hinabgesenkt[1]. Das letztere reichte durch Buntsandstein, Zechstein, Rotliegendes und Steinkohlenformation bis in das Oberdevon.

In den verschiedenen Stadien der Bohrungen von Sperenberg und Schladebach wurden von Dunker sehr genaue Temperaturbeobachtungen gemacht, die sich dadurch auszeichnen, daß die größte Sorgfalt auf möglichste Ausschließung aller Fehler verwendet ward; namentlich war das Thermometer durch Abschluß der Wassersäule im Bohrloch mittels Kautschukhüllen, in Schladebach mittels gekneteten Thones, von oben und unten gegen Strömungen geschützt. Diese Maßregeln, ferner die Tiefe der Bohrlöcher und der Umstand, daß in dieselben keine Quellen einmünden, machen diese Temperaturbeobachtungen zu den bei weitem wichtigsten, die wir besitzen; höchstens können sich ihnen noch die Untersuchungen im Gotthardtunnel an die Seite stellen.

Die Resultate in verschiedenen Tiefen sind folgende:

Sperenberg:	Tiefe in Metern .	26,7	223,0	286,7	350,4	414,1	477,8	605,2	669	1080	1268
	Temperatur . .	9°	21,6°	23,5°	26,4°	26,9°	30,9°	33,1°	35,9°	46,5°	48,1°
	Geothermische Tiefenstufe für 1° C. = 33,7 m										
Schladebach:	Tiefe in Metern .	36	216	336	456	606	816	966	1206	1476	1716
	Temperatur . .	11°	16,2°	19°	22,1°	26,3°	31,5°	36,6°	43°	51,9°	56,6°
	Geothermische Tiefenstufe für 1° C. = 35,7 m										

In Schladebach wurden die zuverlässigsten Resultate zwischen 1266 und 1716 m Tiefe erreicht, da die Messungen sogleich und vor der Verröhrung des Bohrloches vorgenommen worden waren. Diese für sich allein berücksichtigt ergaben eine Tiefenstufe von 39,55 m für 1° C.

Noch tiefer ins Innere der Erde bringen die gewaltigen Tunnelbauten, wie sie in neuerer Zeit in den Alpen ausgeführt wurden und noch weiter projektiert sind; beendet ist bis jetzt die Durchbohrung des Mont Cenis, des Gotthard und des Arlbergs, in Aussicht genommen jene des Simplon. Die Gelegenheit, welche der Bau am Mont Cenis bot, wurde leider nicht genügend benutzt, indem nur auf italienischer Seite von Giordano einige Temperaturbeobachtungen vorgenommen wurden, während auf der französischen gar nichts geschah und so hier wichtiges Material unrettbar für die Wissenschaft verloren ging. Glücklicherweise wurde bei den bald darauf begonnenen Arbeiten am Gotthard Fürsorge getroffen, um alle geologischen Beobachtungen anzustellen und zu sammeln, zu welchen Anlaß gegeben war, und in dem Ingenieur Stapff ein Mann für die Lösung dieser wichtigen Aufgabe bestellt, welcher ihre Bedeutung zu würdigen und den schwierigen Anforderungen zu entsprechen verstand. Neben der Anfertigung eines geologischen Profils durch den Tunnel und der Aufsammlung der in demselben anstehenden Gesteine war es vor allem die Beobachtung der Temperatur, die mit der größten Sorgfalt durchgeführt wurde.

Das Nordportal des Gotthardtunnels befindet sich im Reußthal bei Göschenen 1109 m, das Südportal bei Airolo im Thal des Tessin 1145 m ü. M.; die Entfernung zwischen beiden, also die Länge des Tunnels, beträgt 14,920 m. Natürlich ist jedoch für die Gesteinstemperatur eines Punktes nicht seine horizontale Entfernung von der Mündung maßgebend, sondern die Höhe,

[1] Das tiefste Bohrloch ist gegenwärtig das von Paruschowitz in Preußisch-Schlesien. Es war im Mai 1893 bereits 2000 m tief und wurde noch weiter getrieben. Die Ergebnisse der Temperaturmessungen liegen noch nicht vor.

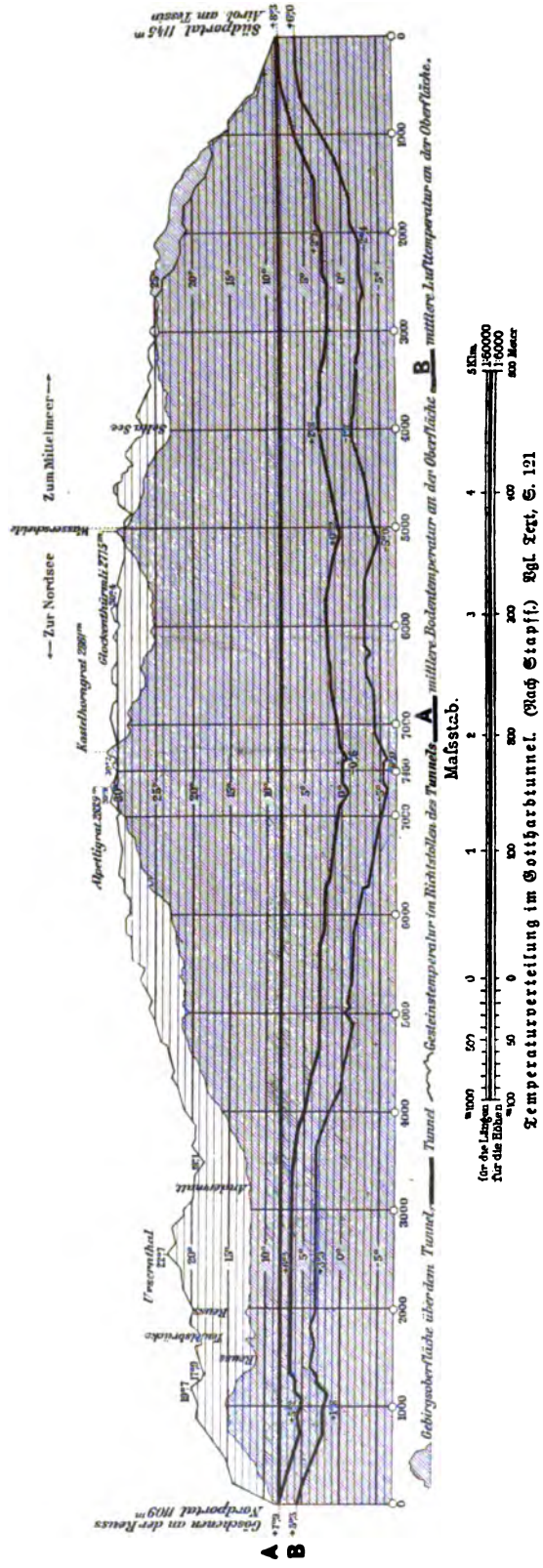
bis zu welcher Gestein über ihm liegt. Es hängt also die Wärme, welche die einzelnen Teile des Tunnels erreichen, namentlich von dem Relief des darüberliegenden Gebirges ab, und bei der Bestimmung der geothermischen Tiefenstufe für einen Punkt muß stets dessen Entfernung von der nächstgelegenen Stelle der Oberfläche in Rechnung gezogen werden.

Die Ergebnisse der Beobachtungen von Stapff sind in der Abbildung auf S. 122 angegeben, indem durch verschiedene Linien die Gesteinstemperaturen für die ganze Erstreckung des Tunnels, die mittlere Jahrestemperatur der Luft, wie sie an der Oberfläche auf der ganzen Terrainlinie über dem Tunnel herrscht, und endlich für dieselbe Strecke die Bodentemperatur an der Oberfläche ersichtlich gemacht sind. In die Temperaturskala ist ferner ein Profil des Gebirgsreliefs, das sich über dem Tunnel erhebt, mit grauem Ton eingedruckt, um sofort den Einfluß der überlagernden Gesteinsmassen auf die Wärmezunahme im Tunnel zu veranschaulichen. Die höchsten Temperaturen, welche erreicht wurden, erhoben sich etwas über 30°, das Maximum betrug 30,8°. Ein Blick zeigt, daß im allgemeinen die Wärmezunahme der Höhe der überlagernden Gebirgsmassen entspricht, daß aber die Übereinstimmung keine absolute ist; im Verhältnis sind, wie das zu erwarten war, die vom Thermometer angezeigten Schwankungen geringer als die Unebenheiten der Oberfläche, d. h. unter Bergspitzen nimmt die Wärme relativ weniger zu, unter Thälern weniger ab. Eine wesentliche Abweichung zeigte sich nur unter dem Thalboden von Andermatt, wo die Temperatur eine verhältnismäßig sehr hohe war, vermutlich weil in dieser Partie Gips auftritt, in welchem Wärmeentwickelung durch chemische Vorgänge wahrscheinlich ist. Die geothermische Tiefenstufe betrug ungefähr 50,8 m.

Im Arlbergtunnel wurden die Messungen bei weitem nicht so vollständig durchgeführt, wie am Gotthard. Die höchste Temperatur betrug 18,5° in einer Entfernung von 5100 m vom Ostportal und unter einer Überlagerung von ungefähr 715 m Höhe, während im Gotthardtunnel die höchste Temperatur 30,8° bei 1752 m Überlagerung betrug.

Aus allen den Beobachtungen, die bis jetzt vorliegen, muß man einen Durchschnittswert für die Zunahme der Temperatur in der Tiefe abzuleiten suchen. Diese Aufgabe bietet große Schwierigkeiten, da die einzelnen Zahlen, die an verschiedenen Punkten erhalten werden, sehr weit voneinander abweichen, und da überdies die zwei Methoden, die Bestimmung der Wassertemperatur in Tiefbohrungen einerseits und der Gesteinstemperatur in Bergwerken und Tunnelanlagen anderseits, durchgängige Verschiedenheiten ergeben. Sehr mannigfaltig sind die Ursachen, welche Unterschiede bedingen: Kohlenbergwerke sind in der Regel verhältnismäßig warm infolge der in ihnen stattfindenden chemischen Vorgänge, Oxydationsprozesse; aus demselben Grunde zeigen auch solche Metallminen hohe Temperatur, in welchen an der Luft sich leicht zersetzende Schwefelmetalle (Kiese) vorkommen. Aber auch insofern können Metalle Wirkung ausüben, als sie sehr gute Wärmeleiter sind und daher die Temperatur tieferer Lagen leichter nach oben mitzuteilen vermögen. Wo Wasseradern aus größerer Tiefe aufsteigen, bringen sie ebenfalls Wärme mit sich, während anderseits das Eindringen von Wasser von der Oberfläche eine Abkühlung bewirkt. Nach Huyssen wird das Ergebnis auch durch den verschiedenen Grad der Wärmeleitungsfähigkeit nicht nur des darunterliegenden, sondern auch des auflagernden Gesteins wesentlich beeinflußt.

Auch von der Oberflächenbeschaffenheit hängt die Wärmezunahme nach der Tiefe ab; in einem hoch aufragenden Berge, der verhältnismäßig wenig Masse besitzt, wird die Abkühlung rasch vor sich gehen und daher die geothermische Tiefenstufe eine große sein. Anders wird es sich verhalten, wenn man die vom Boden eines Süßwassersees oder des Meeres nach abwärts auftretenden Temperaturen ins Auge faßt; tiefe Süßwasserseen zeigen am Grunde fast durchgängig 4° über dem Nullpunkt, und im Meere ist die Temperatur noch erheblich niedriger; es wird daher von dort aus die Wärmezunahme eine ziemlich rasche sein.



Unter diesen Umständen sieht man sich einer Reihe von schwer zu bewältigenden Zweifeln gegenüber. Da die Beobachtungen bei Bohrungen in der Regel konstantere Resultate liefern als diejenigen in Bergwerken, so hält man sie für zuverlässiger und nimmt die aus ihnen im Durchschnitt sich ergebende Wärmezunahme von 1° C. auf 33 m als diejenige Zahl an, welche den Verhältnissen der Erde im allgemeinen am besten entspricht. Trotzdem aber mahnt der Umstand, daß die direkte Beobachtung von Gesteinstemperaturen auf bedeutend langsamere Wärmezunahme weist, zur Vorsicht; es erscheint daher unzulässig, in der Annahme einer geothermischen Tiefenstufe von 33 m mehr als eine Annäherungszahl sehen zu wollen, die möglicherweise noch gründlich modifiziert werden wird. Wir müssen gestehen, daß wir von einem halbwegs sicheren Resultat noch sehr weit entfernt sind.

Diese geringe Kenntnis der Temperaturverhältnisse im Erdinneren und die schwache Aussicht auf baldige Vermehrung unseres Wissens in dieser Richtung sind sehr zu bedauern, da es sich hier um eine Frage handelt, die theoretisch wie praktisch von hoher Wichtigkeit ist. In immer größere Tiefen dringen die Schächte der Bergwerke, um Kohlen und Metalle an die Oberfläche zu schaffen; immer weitere Strecken des Gebirges werden von Eisenbahntunnels durchbohrt, und es drängt sich die Frage auf, wo die Grenze sei, an der eine dem menschlichen Organismus die Arbeit verbietende Hitze eintritt. Weitaus die reichste Gold- und Silbermine der Welt ist der Comstockgang im Staate Nevada, nahe an der kalifornischen Grenze, der in den Jahren 1860—1876 Gold und Silber im Werte von 237 Millionen Doll. geliefert hat. Aber trotz der ungeheuern Menge und des fabelhaften Reichtums der Erze fürchtet man den

weiteren Betrieb aufgeben zu müssen, da die Hitze stellenweise so groß ist, daß sie dem Bergbau enorme Schwierigkeiten entgegensetzt. Die Arbeiter bewegen sich in einer Temperatur von 42,2 bis 46,7°, die nur dadurch erträglich wird, daß die Luft trocken ist, und daß mit den heißen relativ kühlere Strecken abwechseln; trotzdem ist an den warmen Orten die Arbeitsdauer für einen Mann auf nur 10 Minuten festgesetzt. Man hatte auch versucht, in Strecken von mehr als 50° C. arbeiten zu lassen, mußte aber das Unternehmen aufgeben, da Geisteszerrüttung oder rascher Tod der Arbeiter die Folge der Anstrengung in dieser furchtbaren Temperatur war. Überhaupt ist die Menge der Todesfälle unter den Bergleuten in heißen Gruben eine wahrhaft erschreckende, und ungeheuer die Zahl der Opfer, welche die Goldgier dem Verderben in der schwülen Atmosphäre entgegentreibt[1].

Allerdings ist es in den Bergwerken des Comstockganges in Nevada weniger die große Tiefe als die Ungunst spezieller lokaler Verhältnisse, namentlich das Auftreten von warmen Quellen, welche die außerordentliche Hitze bedingen, während z. B. in den tiefen Přibramer Schächten sehr gemäßigte Temperatur herrscht. Aber auch bei anderen montanistischen Unternehmungen kommt die Frage der Wärmezunahme nach der Tiefe sehr in Betracht. Im Jahre 1863 machte Sir William Armstrong in der Versammlung der britischen Naturforscher darauf aufmerksam, daß bei der kolossalen Ausbeutung, welche in den englischen Kohlenfeldern stattfinde, in nicht allzu ferner Zukunft der Zeitpunkt der Erschöpfung eintreten könnte. Seine Warnung veranlaßte die Bildung eines „königlichen Komitees" zur Prüfung der Frage, welches zwar die Sache nach genauer Untersuchung nicht so bedenklich fand, wie Armstrong geglaubt hatte, doch aber zu der Überzeugung kam, daß die Nachhaltigkeit der englischen Kohlenproduktion in einigen Jahrhunderten sehr wesentlich abhängig sein werde von der Temperatur, bei welcher in der Tiefe noch eine Gewinnung des fossilen Brennstoffes möglich sein würde. In der That haben manche der englischen Kohlenwerke schon recht beträchtliche Wärme; in der Rosebridge-Grube z. B., die 1875 unter allen englischen Bauen die größte Tiefe, nämlich 745 m, erreicht hatte, betrug die Gesteinswärme 34,5° C.

Von besonderer Bedeutung ist eben jetzt die Frage der Temperaturzunahme für die projektierte Simplonbahn, welche den Kanton Wallis mit dem Lago Maggiore verbinden soll. Von der in einem weit sanfteren Teile der Alpen gelegenen Semmeringlinie abgesehen, ließ man die großen Alpenbahnen, diejenigen über den Brenner, den Gotthard und über den Mont Cenis, zu sehr beträchtlichen Höhen ansteigen, um dem Haupttunnel keine allzu große Länge geben zu müssen oder die Durchfahrung der Hauptwasserscheide mit einem solchen ganz vermeiden zu können (Brennerbahn). Der höchste Punkt der Brennerbahn liegt 1367 m, das Südportal des Gotthardtunnels 1145 m, das Südportal des Mont Cenis-Tunnels 1291 m ü. M. Wenn aber eine derartige Anlage den Bau vereinfacht, so bringt sie dagegen große Nachteile für den Betrieb; einerseits muß jeder Zug bis zu sehr bedeutender Höhe ansteigen, was eine namhafte Verteuerung des Transports bedingt, anderseits erschweren die Strenge des Winters und der Fall riesiger Schneemassen in diesen Hochregionen den Betrieb in hohem Grade und bringen sogar zeitweilige Unterbrechungen desselben mit sich. Man ist zu der Überzeugung gelangt, daß eine Vermeidung dieser Übelstände für eine Alpenbahn von so großem Nutzen wäre, daß dadurch selbst eine sehr bedeutende Verteuerung des Tunnelbaues aufgewogen würde. Bei dem Entwurf des Baues einer

[1] Welch fürchterlichen Einfluß auf die Gesundheit derartige Arbeiten auch bei weit geringerer Hitze unter gewissen Umständen ausüben, wird durch die Thatsache illustriert, daß für die Bohrung des Gotthardtunnels keiner der Bohrarbeiter zu haben war, die im Mont Cenis-Tunnel auf der Modaneser Seite beschäftigt gewesen waren, weil sie fast alle an Lungenleiden gestorben waren.

Bahn durch den Simplon will man daher den großen Tunnel sehr tief legen und hofft dadurch dieser Linie so günstige Betriebsverhältnisse zu schaffen, daß sie alle ihre Konkurrentinnen zu schlagen und den ganzen Verkehr von England, Frankreich, Belgien und der Westschweiz nach Italien an sich zu reißen im stande sein werde. Um diesen Zweck zu erreichen, sind einige Projekte ausgearbeitet worden, von welchen die wichtigsten folgende Verhältnisse zeigen:

Tunnellänge	a) 19,075 m	b) 18,504 m	c) 16,150 m
Höhe des Südportals über dem Meere	687,5 m	687,5 m	790 m
Höhe des Nordportals	680 m	711 m	771 m

Diese Tunnels führen unter gewaltigen, hohen Bergen durch. Nach dem Projekt a) würde der Tunnel unter dem 3270 m hohen Wasenhorn und dem 3565 m hohen Monte Leone durchgehen, so daß durchschnittlich 2220 m Gebirge über ihm zu liegen kämen. Im Projekt b) würde die Bergeshöhe sogar 2247 m betragen[1]. Aus diesen Daten hat nun der Ingenieur Stapff, welcher die geologischen Beobachtungen beim Bau des Gotthardtunnels in trefflicher Weise durchgeführt hat, unter Zugrundelegung der hier gemachten Beobachtungen die mutmaßlichen Temperaturen für den Simplontunnel berechnet und zwar die Gesteinswärme in der Mitte der Strecke für das Projekt a) zu 46,9° C., für b) zu 47,5° C.; die Luft vor Ort würde beim Bohren 45,8°, beim Schuttabräumen 48,4° zeigen, während die zusitzenden Wasser, abgesehen von dem Falle des Auftretens einer Therme, auf 53,3° geschätzt werden.

Es entsteht nun die Frage, ob es noch möglich sein wird, unter solchen Verhältnissen zu arbeiten. Die Bluttemperatur des Menschen beträgt 37°; 40° ist schon starke Fieberhitze, und der Tod tritt z. B. bei Typhus ein, wenn 42° erreicht werden. Es darf demnach eine so bedeutende Steigerung der Blutwärme nicht vorkommen. Im ganzen kann man annehmen, daß in trockener Luft Arbeiten noch bei 50° zulässig sind, da hier das Verdunsten des Schweißes eine Abkühlung der Haut mit sich bringt, während in feuchter Luft die Grenze schon bei 40° liegen würde. Nach diesen Voraussetzungen wäre demnach eine Ausführung der beiden ersten Projekte unmöglich, während das Projekt c), für das allerdings noch keine ganz genauen Daten vorliegen, vermutlich gerade an der äußersten Grenze der Durchführbarkeit läge. Die Zulässigkeit dieser Annahmen ist von den Vertretern der tiefen Simplontracen energisch bestritten worden, doch dürfte kaum ein Zweifel erlaubt sein, daß die Erfahrungen am Gotthard insofern richtig auf den Simplon übertragen wurden, als, gleiche Verhältnisse vorausgesetzt, die berechneten Temperaturen in hohem Grade wahrscheinlich sind. Wir wissen jedoch, daß oft einander sehr nahe gelegene und sehr ähnlich erscheinende Punkte ganz verschiedene Wärmezunahmen zeigen. Es ist daher durchaus nicht sicher, daß die geothermische Tiefenstufe an beiden Orten dieselbe sei; ob aber eine mutmaßliche Abweichung für die Simplonstrecke günstig oder ungünstig sein, ob hier die Temperatur schneller oder langsamer anwachsen werde als am Gotthard, das zu entscheiden, haben wir auch nicht den geringsten Anhaltspunkt, und es ist daher das Unternehmen einer Tunnelanlage in der Tiefe jedenfalls ein gewagtes. Die Frage, ob und inwieweit durch künstliche Abkühlung den Schwierigkeiten abgeholfen werden könne, fällt nicht in den Bereich der Geologie, und wir werden uns daher nicht weiter damit befassen[2]. Wissenschaftlich wäre jedenfalls die Anlage eines tief liegenden Tunnels sehr interessant, und vielleicht wird sehr bald eine praktische Entscheidung erfolgen, wenn die möglichen Hindernisse nicht von der Unternehmung zurückschrecken.

---

[1] Für das Projekt c) liegen keine genauen Profile des überliegenden Gebirges vor.

[2] Ein neueres Projekt bietet nach einem Bericht von Heim, Lory, Renevier und Taramelli günstigere Verhältnisse; der Tunnel, welcher 20,000 m Länge erhalten soll, wird voraussichtlich nirgends mehr als 35° Wärme haben.

So groß in diesen und in ähnlichen Fällen die praktische Wichtigkeit einer genauen Kenntnis der inneren Erdwärme ist, so ist doch die theoretische Bedeutung der Frage eine ungleich höhere; mit ihr steht eine Reihe der interessantesten Probleme im allerinnigsten Zusammenhang, so daß wir uns wohl etwas eingehender mit diesem Gegenstand befassen müssen. In erster Linie handelt es sich darum, die Ursachen und Quellen der Temperaturzunahme in der Tiefe zu untersuchen. Sehr verschiedene Ansichten sind in dieser Richtung ausgesprochen worden; die Wirkung chemischer Vorgänge, Umsetzung mechanischer Kräfte in Wärme, Durchgang des ganzen Sonnensystems durch heißere Teile des Weltraumes, endlich die ursprüngliche Hitze, welche die Erde nach der Kantschen Theorie bei ihrer Lostrennung von der Sonne besessen haben muß, werden zur Erklärung herbeigezogen.

Wie wir früher gesehen haben, befinden sich alle Fixsterne und Planeten entweder noch in einem Zustande sehr hoher Temperatur, oder befanden sich früher in einem solchen und haben ihre Hitze durch Abkühlung verloren, und wichtige Gründe sprechen dafür, daß die Erde ebenfalls denselben Entwickelungsgang durchgemacht habe; es ist daher sehr wahrscheinlich, daß die Wärmezunahme nach der Tiefe auf die Hitze, welche die Erde bei der Lostrennung von der Sonne gehabt hat, zurückzuführen sei. Diese Ansicht ist jetzt auch fast von allen Geologen adoptiert, und die Allgemeinheit der Erscheinung sowie die außerordentliche Höhe der Temperatur, welche namentlich durch die Vulkane bewiesen wird, bilden entscheidende Beleggründe für diese Annahme, da sich keiner der anderen Erklärungsversuche als zureichend erweist. Wir kennen keinen chemischen Prozeß, der in solcher Ausdehnung und Intensität auf der Erde vor sich ginge, daß ihm die Steigerung der Temperatur nach der Tiefe und die Schmelzung der ungeheuern Massen eruptiver Gesteine zugeschrieben werden könnte. Ähnlich verhält es sich mit der Umsetzung mechanischer Kräfte in Wärme; es könnte hierbei nur an die Gebirgsbildung gedacht werden, allein dann müßten z. B. fundamentale Verschiedenheiten zwischen den geothermischen Verhältnissen junger Kettengebirge, wie der Alpen, und jenen der ungestörten Ebenen vorhanden sein, was thatsächlich nicht der Fall ist, ganz abgesehen davon, daß diese Quellen für so bedeutende Wärmemengen nicht im entferntesten ausreichend wären. Auf die Hypothese, daß der Durchgang der Erde und des ganzen Sonnensystems durch eine wärmere Region des Raumes als Ursache der in Rede stehenden Erscheinung zu betrachten sei, brauchen wir nicht näher einzugehen; sie dürfte jetzt kaum noch Anhänger besitzen.

Allerdings hat man auch nachzuweisen versucht, daß die Verteilung der geothermischen Tiefenstufen mit der Annahme einer allmählichen Abkühlung aus glutflüssigem Zustande unvereinbar sei. Um jedoch über diesen Gegenstand ins klare zu kommen, müssen wir uns erst mit den Verhältnissen einer heißen, sich abkühlenden Masse befassen. Die Hauptfrage ist hierbei, ob die geothermischen Stufen nach innen wachsen oder abnehmen, ob dieselben, wenn wir sie z. B. an der Oberfläche mit 33 m für 1° C. annehmen, in größerer Tiefe 34, später 35 m und so fort betragen, die Wärmezunahme also sich verlangsamen oder das Gegenteil stattfinden müsse. Einige Überlegung zeigt, daß hier kein Zweifel stattfinden kann; ein heißer Körper, der sich in einem kälteren Medium befindet, gibt an dieses Wärme ab, und natürlich muß dieser Vorgang an der äußeren Grenze des heißen Körpers am intensivsten sein, während die Wärmeabgabe um so geringer wird, je weiter man in das Innere eintritt. Es werden also die Temperaturdifferenzen in der äußersten Schale des heißen Körpers am größten sein, weiter nach innen dagegen immer kleiner werden, mit anderen Worten: die Wärmezunahme wird sich nach innen verlangsamen; bei der Erde müssen mithin die geothermischen Stufen nach der Tiefe zunehmen.

Dieses Resultat, welches auch die Rechnung bestätigt, prüfte G. Bischoff in Bonn experimentell, indem er große Kugeln von geschmolzenem Basalt sich abkühlen ließ; es wurden nach

der Erstarrung Löcher in dieselben gebohrt und Thermometer eingeführt, die eine Beobachtung des Abkühlungsgesetzes ermöglichten. In einer Kugel von 27¼ Zoll Durchmesser ergaben sich 48 Stunden nach dem Gusse folgende Resultate:

Temperatur im Mittelpunkt	191,9° C.	Temperatur 6¾ Zoll vom Mittelpunkt	156,1° C.
„ 4½ Zoll vom Mittelpunkt	170,0° „	„ 9 „ „ „	137,2° „

Es geht daraus unzweifelhaft hervor, daß sich die Temperaturunterschiede nach innen verringern, daß die Tiefenstufe nach innen wächst; die Abnahme vom Mittelpunkt bis 4½ Zoll von demselben beträgt 21,9°, während sie sich auf der gleichgroßen Strecke von da bis zu 9 Zoll vom Mittelpunkt auf 32,8° beläuft.

Die Frage, ob die Temperaturzunahmen, die man beim Eindringen in die Tiefe der Erde beobachtet, mit den theoretischen Voraussetzungen übereinstimmen, hat zu sehr vielen Diskussionen Anlaß gegeben, bis man endlich zu der Überzeugung gekommen ist, daß die vorliegenden Daten absolut unzulänglich sind, eine Einsicht, der zum Durchbruch verholfen zu haben, das Verdienst von J. Hann in Wien ist. Nicht nur erschwert wird eine Entscheidung durch die Ungleichheit der Beobachtungsresultate an den verschiedensten Punkten und durch das Vorhandensein von Unregelmäßigkeiten, selbst bei den besten unter ihnen, sondern direkt unmöglich wird sie dadurch gemacht, daß auch die größten Tiefen, welche der Mensch erreicht hat, im Verhältnis zum Durchmesser der Erde eine verschwindende Größe bilden. W. Thomson hat berechnet, daß, wenn seit Beginn der Abkühlung der Erde 100 Millionen Jahre vergangen sind, eine Steigerung der Tiefenstufe um ein Zehntel ihres Betrages erst ungefähr 40,000 m unter der Oberfläche zu erwarten ist, während man zu demselben Zwecke immer noch bis 4000 m gehen müßte, wenn die Zeit seit Beginn der Abkühlung nur 1 Million Jahre betrüge, was, nebenbei gesagt, eine unmögliche Voraussetzung ist. Wir sehen also, daß nach den vorliegenden Daten eine Änderung der Tiefenstufen in unseren Bergwerken und Bohrungen noch gar nicht erwartet werden kann.

Die Tiefe des großen Sperenberger Bohrloches beträgt mit 1272 m ungefähr 1/5000 des Erdhalbmessers; dasselbe ist folglich einem winzigen, 1/10 mm tiefen Stiche zu vergleichen, den man auf der Oberfläche eines 1 m großen Globus mit einer Nadel anbrächte. Es ist also offenbar unmöglich, aus so beschränkten Erfahrungen das Gesetz der Wärmezunahme nach dem Erdinneren empirisch festzustellen. Vorläufig können wir aus den geothermischen Beobachtungen keinerlei sichere Schlüsse ableiten, und es ist auch sehr unwahrscheinlich, daß die Fortschritte der Technik in den nächsten Jahrhunderten die Menschen befähigen werden, Schächte und Bohrlöcher von etwa 10 Meilen Tiefe abzusenken, wo zwar eine Entscheidung möglich wäre, aber auch eine Temperatur herrschen muß, die nach mehreren Tausenden von Graden zählt.

Wenn die Wärme in der Tiefe wirklich einen Rest von der Abkühlung des ursprünglich glühenden Balles darstellt, so wird es unter gewissen Voraussetzungen möglich sein, an die Temperatursteigerung nach abwärts Folgerungen in Bezug auf das Alter der Erde anzuknüpfen. Der Versuch zu einer solchen Berechnung wurde von dem ausgezeichneten Physiker William Thomson gemacht, wobei sich annähernde Zeitbestimmungen ergaben, die allerdings wegen der Unsicherheit der Daten innerhalb sehr weiter Grenzen schwanken. Die Größen, auf welche sich die Rechnung stützt, sind die Temperatur, bei welcher die Erstarrung der Erde begann, die Wärmeleitungsfähigkeit der Gesteine und endlich die geothermische Tiefenstufe. Da keine dieser Größen genau bekannt ist, so nahm Thomson für jeden dieser Faktoren in einer Rechnung einen sehr hohen, in einer anderen einen sehr niederen und in einer dritten einen mittleren Wert an und kam zu dem Resultat, daß die seit der Erstarrung der Erde verflossene Zeit nicht weniger als 20 und nicht mehr als 400 Millionen Jahre betragen könne; als wahrscheinlich wird ein mittlerer, zwischen 90 und 200 Millionen Jahren gelegener Wert angenommen.

Von vielen Seiten wird auf diese Schätzungen ein sehr großes Gewicht gelegt; es wäre von der höchsten Bedeutung, eine absolute Zeitbestimmung in der Geschichte der Erde zu haben, und es ist darum begreiflich, daß diese von einer solchen Autorität geäußerte Ansicht eine Menge von Anhängern fand. Allein die mathematische Behandlung sichert die Ableitung richtiger Resultate nur dann, wenn die ihr zu Grunde liegenden Daten richtig und ausreichend sind; über die Mangelhaftigkeit dieser kann sie nicht hinaushelfen. Die Berechnung Thomsons wird natürlich nur Anspruch auf allgemeine Anerkennung machen dürfen, wenn die drei berücksichtigten Faktoren richtig geschätzt sind, und wenn außer ihnen kein wesentlicher Faktor vorhanden ist, welcher nicht in Anschlag gebracht wurde. Das erstere mag vielleicht zugegeben werden, in letzterer Beziehung enthalten dagegen die Voraussetzungen wesentliche Lücken und Unrichtigkeiten. Wir haben bei der Frage nach der Abkühlung der Sonne gesehen, daß diese durch ihre Zusammenziehung fortwährend Wärme entwickelt, und daß daraus eine Kompensation für den Verlust durch Strahlung erhellt; dasselbe gilt auch für die Erde: auch sie ist seit dem Beginn der Abkühlung in fortwährender Zusammenziehung begriffen, es muß dadurch Wärme frei werden und der Prozeß der Erkaltung sich wesentlich verzögern. Wie groß der Einfluß, wie groß die Einwirkung dieses Vorganges ist, wissen wir nicht; jedenfalls aber kann eine Rechnung, welche denselben nicht berücksichtigt, nicht richtig sein, so daß wahrscheinlich die von W. Thomson berechneten Zahlen für das Alter der Erde viel zu niedrig sind.

Merkwürdigerweise ist aber außerdem bei allen bisherigen Berechnungen, Hypothesen und Besprechungen ein in hohem Grade wichtiger Gegenstand vollständig vernachlässigt worden, so daß dieselben auf ganz falscher Grundlage ruhen. Man findet in irgend einer Gegend eine bestimmte Zunahme der Wärme nach der Tiefe und knüpft nun daran stets die verschiedensten Folgerungen unter der Voraussetzung, daß die betreffenden Gesteine ihre jetzige Temperatur unmittelbar durch Abkühlung aus dem ursprünglich schmelzflüssigen Zustand erhalten haben. Diese Annahme ist aber durchaus unrichtig; die Mehrzahl der betreffenden Beobachtungen stammt aus Gesteinen, die sich nachweisbar am Boden des Meeres oder von Binnenseen aus dem Wasser abgelagert haben, während wir ein Gestein, das mit voller Sicherheit als ein Bestandteil der ursprünglichen Erstarrungsrinde der Erde bezeichnet werden könnte, überhaupt nicht kennen. Die höhere Temperatur, die wir in allen Schichtgesteinen in der Tiefe finden, ist also nicht ein unmittelbares Überbleibsel der ursprünglichen Schmelzhitze, sondern sie rührt von einer Erwärmung durch die in weit größerer Tiefe befindlichen ursprünglichen Erstarrungsgesteine her. Es kann hier nicht unsere Aufgabe sein, die Folgen dieses Verhältnisses zu entwickeln, es mag an dem Hinweis genügen, daß alle Hypothesen und Berechnungen von diesem Standpunkt aus einer vollständigen Revision unterzogen werden müssen.

Die Dicke der Erdkruste und der Zustand des Erdinneren.

Es ist sicher, daß die Zunahme der Wärme nach innen keine Erscheinung darstellt, welche ausschließlich nur die alleroberſten Schichten der Erdrinde betrifft, sondern daß diese Steigerung bis zu beträchtlichen Tiefen ziemlich gleichmäßig fortdauert, daß ihre Verlangsamung eine sehr allmähliche ist; bis zu welchem Punkte und zu welchem Grade diese Zunahme sich erstreckt, wissen wir nicht, jedenfalls aber muß in einer Entfernung von der Oberfläche, die im Vergleich mit dem Durchmesser unseres Planeten außerordentlich klein ist, überaus große Hitze herrschen. Nehmen wir die geothermische Tiefenstufe zu 33 m an, so erhalten wir schon bei 66 km oder nicht ganz 9 Meilen Tiefe eine Temperatur von 2000°, die wenigstens unter den Verhältnissen, wie sie am Tage herrschen, zur Schmelzung fast aller unserer Gesteine hinreichen würde. Dürfen wir daraus

wirklich den Schluß ziehen, daß sich im Inneren der Erde eine glutflüssige Masse befinde? Und wie weit ist es zu ihr hinab? Diese Fragen drängen sich uns auf, sie gehören zu den wichtigsten, aber auch zu den schwierigsten im ganzen Gebiet der Geologie, und ihre Lösung beschäftigt die Wissenschaft schon seit längerer Zeit, ohne daß eine endgültige Antwort schon heute möglich wäre.

Schon Descartes und Leibniz nahmen das Vorhandensein eines feurig-flüssigen Erdkernes an, vor allen aber waren es Laplace, Fourier und Cordier, welche diese Hypothese wissenschaftlich begründeten; die Zunahme der Temperatur nach unten und das Auftreten heißer Quellen dienen zu ihrer Bestätigung, namentlich aber liefern die Laven, die von den Vulkanen in den verschiedensten Gegenden ausströmen, für das Vorhandensein geschmolzener Massen im Inneren einen direkten Beweis. Überdies kommen vollständig miteinander übereinstimmende Laven an den verschiedensten Punkten der Erde vor, so daß man für dieselben einen gemeinsamen Ursprung aus einer großen zentralen Masse annimmt und somit der Erklärung der vulkanischen Erscheinungen durch lokale Vorgänge einen gewichtigen Einwurf entgegenstellt. Aus allen Perioden der Erdgeschichte bis in die jüngste Zeit kennen wir gewaltige Senkungen großer Kontinentalmassen, eine Erscheinung, welche für das Vorhandensein einer labilen Unterlage spricht. Auch die Abplattung der Erde wurde angeführt, die nur bei einem ursprünglich flüssigen Zustand der Erde eintreten konnte; ein ursprünglich starrer Körper hätte nicht die Gestalt annehmen können, welche einem rotierenden flüssigen Körper zukommt.

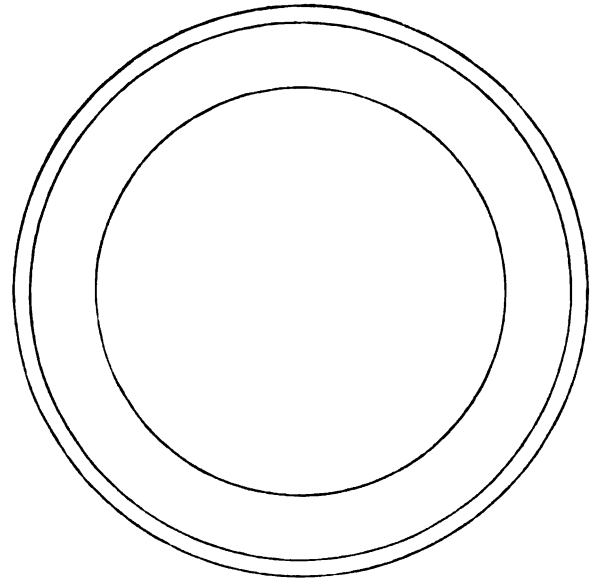
Diese Gründe machten die Annahme eines feurig-flüssigen Erdinneren zu einer ganz allgemeinen, und auch heute ist jedenfalls die Meinung sehr verbreitet, daß diese Hypothese die meiste Wahrscheinlichkeit für sich habe. Dagegen sind die Ansichten über die Dicke der festen Kruste sehr geteilt; manche glaubten, daß schon in einer Tiefe von $2^1/_2$ oder doch wenigstens von 5—6 Meilen die geschmolzenen Massen beginnen, während andere eine so geringe Mächtigkeit der Erdkruste wohl mit Recht bedenklich fanden und eine solche von ungefähr 14—20 Meilen annahmen, eine Ziffer, welche vielseitig adoptiert wurde und noch adoptiert wird.

Allein auch diese Annahme ergibt noch ein großes Mißverhältnis zwischen der soliden Schale und dem flüssigen Inhalt: erstere würde an einem Globus von 1 m Durchmesser nur etwa 23 mm betragen. Zur Versinnlichung dieses Verhältnisses dient die Abbildung auf S. 129. Der äußerste Kreis bezeichnet den Umfang der Erde, dann würde dem Verhältnis nach die einsäumende Linie die Dicke einer Erdkruste von 6 geogr. Meilen, der Raum zwischen dem äußeren und dem zweiten Kreise eine Kruste von 55, zwischen dem äußersten und innersten Kreise eine solche von 250 Meilen darstellen. Gegenwärtig sind die Vertreter der Lehre vom glutflüssigen Erdinneren geneigt, der festen Kruste eine 20 Meilen weit übersteigende Stärke zuzuschreiben. Man fühlt sich hierzu hauptsächlich durch die Erfahrung bewogen, daß der Schmelzpunkt durch Druck eine Erhöhung erfährt. Im Inneren der Erde ist aber jedenfalls ein enorm hoher Druck vorhanden, so daß anzunehmen ist, daß sich die Region der Schmelzung erst in sehr bedeutender Tiefe einstellt.

Physiker und Astronomen haben diese vornehmlich von Geologen getragene Vorstellung des glutflüssigen Erdinneren wiederholt bekämpft; zunächst nicht mit Erfolg. Hopkins machte die Erscheinung der Präzession zur Grundlage seiner Ableitungen. Unser Mond und in viel geringerem Maße die Sonne üben auf die äquatoriale Massenanschwellung der Erde eine Anziehung aus, welche eine Richtungsänderung der Erdachse bewirkt. Den Astronomen ist diese überaus langsame aber stetige Bewegung unter dem Namen Präzession der Nachtgleichen geläufig. Hopkins stützte sich auf die Voraussetzung, daß diese Erscheinung in anderer Weise auftreten müsse, je nachdem die Erde als ganz fest oder als flüssig mit einer dünnen Kruste gedacht oder als sehr dickkrustig mit verhältnismäßig kleinem Kerne angenommen wird, und gelangte zu dem Ergebnis, daß die thatsächlich beobachtete Präzession einer Dicke der festen Hülle von ungefähr 170 bis

215 geogr. Meilen entspreche. Man könnte daher den ganzen Erdkörper als durchaus fest ansehen, wofern das Vorhandensein einzelner mit flüssigem Magma erfüllter Hohlräume im Inneren zugelassen wird.

Dagegen ist richtig eingewendet worden, daß die Berechnungen von Hopkins auf falschen Voraussetzungen beruhen, denn die geschmolzene Innenmasse ist keine absolute Flüssigkeit, wie Hopkins annimmt, sondern muß eine zähe, viskose Beschaffenheit haben, und dies bedingt, daß ihre Teilchen nur unter Überwindung eines großen inneren Reibungswiderstandes gegeneinander verschoben werden können. Auch wurde die Reibung an der Berührungsfläche der Kruste und des geschmolzenen Inneren nicht berücksichtigt. Überdies ist die Hopkinssche Annahme auch experimentell als unrichtig erwiesen worden, und zwar selbst unter der günstigen Voraussetzung einer raschen Drehung; um so mehr werden wir sie daher für die überaus langsame Präzessionsbewegung ablehnen müssen.



Schematischer Durchschnitt der Erde. Vgl. Text, S. 128.

Von Poisson ist die Hypothese aufgestellt worden, daß die Erde von innen heraus erstarrt und daher durchaus fest sei. Der Vorgang wurde etwa folgendermaßen gedacht: Auf der Oberfläche der einst glutflüssigen Erde bildeten sich durch Abkühlung infolge Ausstrahlung der Wärme feste Schollen, welche schwerer waren als die flüssige Masse und daher untersinken mußten. Anfangs sollten dabei allerdings die festen Teile durch die in der Tiefe noch herrschende Hitze wieder geschmolzen sein, aber allmählich sei die Abkühlung auch nach innen fortgeschritten, und dann mußten sich die festgewordenen Massen im Zentrum sammeln, also die Erstarrung im Zentrum beginnen und nach der Oberfläche fortschreiten.

So einfach diese Folgerung zu sein scheint, so gibt es doch Thatsachen, welche die Richtigkeit derselben sehr in Frage stellen. Dasjenige Gestein, welches die Geologen häufig unter ihren Augen erstarren gesehen haben, ist die Lava. Wenn wir jedoch einen Lavastrom beobachten, so sehen wir die erstarrten Schollen nicht von der Oberfläche in die Tiefe sinken, sondern eine Decke über dem ganzen Strome bilden, unter der sich wie in einem Schlauche von Schlacken die noch flüssige Lava fortbewegt. Bei dem Ausbruch des Ätna im Jahre 1865 konnte sich Silvestri sogar auf die Schlackenschollen eines noch sichtlich in Bewegung befindlichen Lavastromes stellen, ohne daß dieselben unter seinen Füßen gewichen wären. Abgesehen von der Frage, ob erstarrte Lava dichter ist als flüssige, genügt schon die Zähflüssigkeit der letzteren, um ein Untersinken der erstarrten Schollen zu verhindern. Auch als die ganze Erdkugel eine gewaltige geschmolzene Masse bildete, muß ihr Magma, ehe es stellenweise erstarren konnte, sehr zäh und viskos geworden sein, so daß es aus diesem Grunde zweifelhaft erscheint, ob die Schlackenmassen untersinken konnten, wenn sie auch etwas dichter waren als die Flüssigkeit, auf welcher sie schwammen. Überdies ist diese Grundvoraussetzung nicht nur nicht erwiesen, sondern es sprechen immer mehr Thatsachen für das

Gegenteil. Nach Experimenten von Mallet, Siemens und anderen zeigt z. B. Glas, das mit den in Frage stehenden Felsarten große Verwandtschaft hat, beim Erstarren eine leichte Ausdehnung; Eisen, Granit, Basalt und andere Silikatgesteine werden nach neueren Versuchen von der gleichartigen geschmolzenen Masse getragen, und besonders durch Nies ist kürzlich gezeigt worden, daß die erkaltete Lava nicht so sehr wegen der Zähigkeit der flüssigen auf letzterer schwimme als wegen ihres geringeren spezifischen Gewichts.

Die ersten Versuche der mechanisch-astronomischen Behandlung der geophysischen Probleme haben demnach keine dauernden Resultate ergeben. In ein neues, bedeutungsvolles Licht wurden diese Fragen durch den ausgezeichneten Geophysiker W. Thomson (Lord Kelvin) und den Mathematiker G. Darwin gerückt. Thomson, dem wir so viele Versuche, sich der Lösung geologischer Probleme durch Rechnung zu nähern, verdanken, hat gefunden, daß eine Kugel von der Größe und Drehungsgeschwindigkeit unserer Erde, selbst wenn sie ganz aus Glas, Stahl oder sonst einer harten Substanz bestände, unter dem Einfluß der Fliehkraft an den Polen eine Abplattung annehmen müßte, und zwar in einem Grade, der nur unerheblich von der gegenwärtigen Abplattung der Erde abweicht. Die Newtonsche Behauptung, daß die heutige Gestaltung der Erde nur mit einem ehemals flüssigen Zustande vereinbar sei, würde sonach ihre Beweiskraft einbüßen. Ein sehr geringes Maß von Fluidität, wie es allen, auch den starrsten Körpern zukommt, würde nach Thomson zur Ausbildung der polaren Abplattung genügen. Hat sonach die Vorstellung der absoluten Starrheit des Festen zu entfallen, so müßte sich die Wirkung der Anziehung des Mondes und der Sonne, welche sich auf die flüssige Hülle der Erde in Form von Ebbe und Flut äußert, auch auf die Erdfeste erstrecken; auch diese müßte den Anziehungskräften nachgeben und körperliche Gezeiten aufweisen. Natürlich könnten diese nur äußerst wenig ausholen, und es ist der thatsächliche Nachweis derselben überaus schwierig. Trotzdem scheinen wir uns diesem Ziele zu nähern, und zwar sowohl auf dem Wege kritischer Beobachtung der Gezeiten des Flüssigen, als auch durch die von Rebeur-Paschwitz und anderen in neuester Zeit angestellten Beobachtungen am Horizontalpendel, einem sehr empfindlichen Instrument, welches die kleinsten Schwankungen der Ebene des Horizonts selbstregistrierend verzeichnet. Diese freilich erst in den Anfängen befindlichen Untersuchungen machen das thatsächliche Vorhandensein von körperlichen Gezeiten der Erdfeste wahrscheinlich.

Die Lehre vom festen Erdinneren fand bei vielen Geologen Anklang, denn die Voraussetzung dieser Theorie, daß die festen Körper durchaus nicht absolut starr, sondern vielmehr in einem gewissen Grade plastisch und biegsam sind, begegnete sich mit gewissen Erfahrungen der Geologen in gefalteten Kettengebirgen, wodurch auch diese Forscher zu der Annahme der Plastizität der Gesteine in großer Tiefe geführt wurden. Als Ursache der Starre des Erdkörpers betrachtet man den überaus hohen Druck, unter welchem das Erdinnere steht, und welcher eine Schmelzung trotz hoher Temperatur nicht gestattet. Die vulkanischen Eruptionen schienen dieser Annahme zu widersprechen, aber E. Reyer hat die hieraus sich ergebenden Schwierigkeiten beseitigt, indem er gezeigt hat, daß auch druckstarres Magma eruptionsfähig sei. Wenn nämlich durch Spaltenbildung oder Abstau einer auflagernden festen Masse eine Druckerleichterung erfolgt, dann muß das Magma sofort verflüssigt und befähigt werden, Eruptionen zu bilden. Später wendete sich die Aufmerksamkeit der Forscher einer anderen Lehre zu, welche zwischen der Vorstellung vom starren und der vom glutflüssigen Erdinneren vermittelt. Diese Hypothese setzt Reste von flüssigem Magma voraus, sei es in Form begrenzter Lavabecken, sei es als kontinuierliche Mittelschicht zwischen der festen Hülle und dem ebenfalls starren Kern. Namentlich von Hopkins war diese Vorstellung ausgebildet worden, an welche englische und französische Forscher beim Bekanntwerden der so auffallenden Schwereabnormitäten im Himalaja von neuem anknüpften. Pratt

und Faye suchten die größere Schwere in den ozeanischen Gebieten durch die größere Mächtigkeit der auf der glutflüssigen Mittelschicht ruhenden festen Rinde unter den Ozeanen zu erklären. Am Boden der Ozeane herrscht bekanntlich konstant eine Temperatur von nahe an 0°, ja in den größten Tiefen hat man — 1°, selbst — 2° C. nachgewiesen. Dies bedingt einen bedeutend stärkeren Wärmeentzug in den ozeanischen Gebieten und muß eine raschere Verdickung und nach Faye auch Verdichtung der subozeanischen Erdrinde nach sich ziehen. Die Massenkompensation, die, wie wir im Vorhergehenden gesehen haben, auf der Oberfläche festgestellt ist, leitet Faye aus der Annahme ab, daß die festen Oberflächenmassen von größerer Dichte seien, als die obersten Schichten der flüssigen Unterlage. Zu einer ähnlichen, wenn auch im einzelnen entgegengesetzten Anschauung gelangte der englische Astronom Airy, welcher gerade die Kontinente mit ihren Gebirgen über einer mächtigeren Rinde sich erheben läßt, unter den Ozeanen dagegen eine weniger starke, aber dichtere Kruste annimmt. Die glutflüssige Mittelschicht soll ein höheres spezifisches Gewicht besitzen als die feste Rinde und dadurch der Ausgleich der Schwere vollzogen werden. Die Gebirge müßten also nach Airy tiefer in das Magmameer eintauchen und speziell den oberflächlichen Massenanhäufungen sollen innere, in das Magmameer gerichtete Vorsprünge oder sogenannte Bergwurzeln entsprechen, eine Anschauung, zu der sich auch der Geophysiker O. Fisher bekennt.

Auch über den Zustand des inneren Kernes war man in neuerer Zeit Näheres zu ermitteln bestrebt; in dieser Hinsicht waren namentlich die Untersuchungen von Ritter und Zöppritz von Erfolg begleitet. Auf Grund von Berechnungen wurde ausgesagt, daß im Mittelpunkt der Erde eine Temperatur von 20,000° C. und ein Druck von 3 Millionen Atmosphären herrschen müsse. Welche physische Beschaffenheit die Körper unter so abnormen Verhältnissen annehmen, entzieht sich im Grunde genommen unserer Vorstellung. Wenn wir es aber doch versuchen, dieses geheimnisvolle Dunkel zu erhellen, so können wir nur an unsere Laboratoriumserfahrungen anknüpfen und diese sagen uns, daß im Erdinneren der „kritische Punkt" wohl für alle Substanzen überschritten sein müsse. Wie wir im Vorhergehenden auseinandergesetzt haben, versteht man unter dem kritischen Punkt einer Substanz jene Temperatur, bei welcher es unter keinen Umständen mehr, selbst bei Anwendung noch so hohen Druckes, gelingt, die Überführung aus dem gasförmigen in den tropfbaren Zustand vorzunehmen. Wenn die Temperaturannahmen für das Erdinnere richtig sind, wie es den Anschein hat, kann die Kernmasse trotz des hohen Druckes nicht zur Flüssigkeit zusammengepreßt sein, sondern sie muß sich in einer Art gasförmigen Zustandes befinden, welchen man als den überkritischen bezeichnet. Obwohl ungemein verdichtet und sehr kompakt, wird die Kernmasse mit den Gasen die Eigenschaft teilen, daß sie jeden gebotenen Raum zu erfüllen strebt.

Alle chemischen Verbindungen müßten in dieser überkritischen Kernmasse dissoziiert sein, die Elemente müßten für sich auftreten, während sie nach außen infolge der Druckerniedrigung wieder chemische Verbindungen bilden könnten. Es würde sich um den überkritischen Kern eine Gashülle legen, und diese allmählich in die Zone der flüssigen Massen übergehen, und noch weiter nach außen würde eine durch Druck und Hitze plastische Zone den Übergang zur festen Kruste der Lithosphäre vermitteln. Auch diese Anschauung über die Beschaffenheit des Erdinneren hat den hypothetischen Charakter noch nicht abgestreift, es läßt sich aber nicht verkennen, daß dieselbe sowohl den Ansprüchen der Physiker gerecht wird, als auch den Geologen die Erklärung des Vulkanismus und der Gebirgsbildung in gewisser Beziehung erleichtert. Auch der überkritische Erdkern wird als kompakt, als sehr dicht angesprochen, demnach berührt sich diese Lehre in einem sehr wesentlichen Punkte mit der Anschauung Thomsons vom festen Erdinneren.

Wenn wir nun auf unsere Ausführungen zurückblickend uns fragen, wie viel wir davon unseren positiven Erkenntnissen zuzählen dürfen, so müssen wir leider gestehen, daß die Summe dessen vorderhand noch sehr bescheiden ist. Wir haben aber die Überzeugung gewonnen, und dies

ist überaus wertvoll, daß wir weder auf dem Wege der mechanisch-mathematischen Analyse noch auf dem der bloßen physikalischen oder geologischen Spekulation zu einem sicheren Boden gelangen können, wenn diese nicht Hand in Hand gehen mit thatsächlichen Beobachtungen. Allerdings sind diese letzteren schwierig und zeitraubend, sie stellen große Anforderungen an die Geduld und die Genügsamkeit der Forscher, aber sie haben den unschätzbaren Vorteil, daß jede auf diesem induktiven Wege gewonnene Erkenntnis von dauerndem, unbestreitbarem Werte ist. Wir dürfen uns der Hoffnung hingeben, daß die Beobachtungen der Meeresfluten, die Untersuchungen mit dem Horizontalpendel, die Verfolgung der Präzessionsbewegung und endlich die Schweremessungen nach Jahren ein Material fördern werden, welches uns mehr, als dies heute der Fall ist, befähigen wird, die physische Beschaffenheit der Erdkruste wie des Erdinneren zu erkennen.

II. Dynamische Geologie.

3. Vulkane.

Inhalt: Begriff der dynamischen Geologie. — Der Vesuv. — Vulkanische Auswurfsprodukte. — Erhebungs- und Aufschüttungstheorie. — Die Phlegräischen Felder. — Die übrigen Vulkane Italiens. — Vulkaninseln im Atlantischen Ozean. — Europäische (außeritalienische) Vulkane. — Die Vulkane Asiens, Ostafrikas und des Indischen Ozeans. — Die amerikanischen Vulkane. — Die Vulkane im Stillen Ozean. — Zahl der Vulkane. — Einteilung der Vulkane, Massenergüsse. — Zerstörung der Vulkanberge. — Ursachen und Vorboten vulkanischer Ausbrüche.

Begriff der dynamischen Geologie.

Jedermann weiß, daß die Bildungen der Erdoberfläche, welche uns umgeben, nicht von jeher so gewesen sind, wie wir sie heute sehen, und daß sie nicht so bleiben werden; Festländer und Meeresbecken, Gebirge, Ebenen, Flußläufe bis herab in ihre kleinsten und unbedeutendsten Teile haben sich gebildet, sie alle haben ihre geologische Geschichte hinter sich und gehen weiteren Veränderungen entgegen nach denselben großen Gesetzen, welche ihre jetzige Form bedingt haben. Jeder Tag bringt neue Umgestaltungen mit sich, denn unausgesetzt werfen die Vulkane ihre Produkte aus, bewegen sich, Erdbeben erzeugend, Schollen der Erdrinde längs Spalten gegeneinander, tragen die Flüsse feste Teile aus dem Inneren der Kontinente ins Meer und lagern sie dort ab. Mit diesen Faktoren wirken noch zahlreiche andere zusammen in dem immer fortdauernden Prozeß der Zerstörung und der Neubildung, dessen Wirkung allerdings meist nicht bedeutend genug ist, um uns schon in kürzester Zeit aufzufallen, ja der langsam genug vorgeht, um bei oberflächlicher Betrachtung den Eindruck der Beständigkeit in allen Hauptzügen unserer Umgebung hervorzubringen. Aber dadurch, daß während vieler Jahrmillionen Tag für Tag diese allmählich wirkenden Kräfte an der Arbeit sind, häuft sich ihre Wirkung in einer Weise, daß wir ihnen die Bildung der großartigsten Erscheinungen der Erdoberfläche zuschreiben dürfen.

Das Studium der Massenveränderungen bildet eine Hauptaufgabe der Geologie; vor allem aber ist es notwendig, die Kräfte genau kennen zu lernen, welche Neubildung, Umgestaltung und Zerstörung bewirken, die Agenzien, welche thätig sind, und die Gesetze, welchen dieselben folgen. Wir haben dazu mehrere Wege offen; der sicherste und einfachste besteht darin, die Vorgänge, welche jetzt thätig und unserer Beobachtung zugänglich sind, zu untersuchen und zu zeigen, welche Ergebnisse eine durch lange Zeiträume fortgesetzte Dauer derselben mit sich bringen muß.

Es kann als der wichtigste Charakterzug der neueren geologischen Forschung bezeichnet werden, daß sie diese Methode eingeschlagen hat; als ihr erster Bahnbrecher ist Hoff in seiner „Geschichte der natürlichen Veränderungen der Erdoberfläche" aufgetreten, und Lyell hat sie in seinen „Principles of geology" zur allgemeinen Anerkennung gebracht.

Allerdings kann es keinem Zweifel unterliegen, daß Lyell in der Reaktion gegen die Annahme einer Menge in der Vorzeit stattgehabter gewaltsamer Katastrophen und in der extremen Ausbildung des „Uniformitarismus" über das Ziel hinausgeschossen hat. Wir können ihm in vollem Maße zustimmen, wenn er gegen die plötzliche Auftürmung der Gebirgsketten, gegen die momentane Entstehung der vulkanischen Berge durch eine blasenförmige Auftreibung des Bodens spricht, wenn er die Theorie von gewaltigen Überflutungen, dem vorwiegenden Einfluß der inneren Erdwärme auf die Klimate und eine Reihe ähnlicher Abenteuerlichkeiten ablehnt, und wenn er der Anhäufung kleiner Wirkungen das Zustandekommen der großartigsten geologischen Phänomene zuschreibt. In all diesen Fällen erklärt die Annahme einer gleichförmigen und langsamen Entwickelung die Erscheinungen gut und einfach, während die entgegengesetzte Hypothese zu unnatürlichen Voraussetzungen führt und mit den Gesetzen der Chemie und Physik im Widerspruch steht.

Der Punkt jedoch, in welchem wir uns von Lyell zu entfernen gezwungen sind, besteht darin, daß wir diese Gleichmäßigkeit nicht unbedingt und überall voraussetzen, namentlich nicht für die ältesten Zustände unseres Planeten. In einem früheren Abschnitt haben wir gesehen, daß das Steigen der Temperatur nach dem Erdinneren, das Auftreten der Vulkane, vor allem aber der Vergleich mit den übrigen Himmelskörpern zu der Annahme führen, daß die Erde ursprünglich in geschmolzenem Zustande war und erst allmählich erstarrt ist; wir werden ferner folgern müssen, daß bei diesem allmählichen Festwerden manche Erscheinungen an der Oberfläche einen Gewinn, andere einen Verlust an Intensität erfahren haben. Allerdings kommen wir damit auf so entlegene Zeiträume und auf so überaus langsame Änderungen in dem Grade der wirksamen Kräfte, daß die Unterschiede in dieser Beziehung, welche seit der kambrischen Zeit eingetreten sind, unbedeutend bleiben. Im Prinzip aber muß deren Stattfinden zugegeben werden, und hierin müssen wir von Lyell abweichen, der selbst den ursprünglich geschmolzenen Zustand der Erde zu verneinen geneigt ist.

So wichtig aber auch in prinzipieller Beziehung dieser Unterschied der Auffassung ist, so gering sind die Abweichungen, welche dadurch thatsächlich in der Beurteilung der einzelnen Fälle bedingt werden. Hier stehen wir der Hauptsache nach auf dem von Hoff und Lyell geschaffenen Boden, und die Untersuchung der jetzt vor sich gehenden Veränderungen gibt den wichtigsten Anhaltspunkt für die Erklärung der geologischen Erscheinungen. Aber allerdings reicht diese Methode nicht in allen Fällen aus; manche Vorgänge sind so langsam und allmählich in ihrer Wirkung, daß weder die kurze Spanne eines Menschenlebens noch die wenigen Jahrhunderte, aus welchen Beobachtungen vorliegen, zu deren Wahrnehmung hinreichen; andere Faktoren sind in einer Tiefe wirksam, in die wir nicht hinabzudringen vermögen, und bleiben dem Auge des Menschen wohl für immer unzugänglich. Hier können wir nur aus den fertigen Erscheinungen, wie sie uns aus der geologischen Vorzeit entgegentreten, unsere Schlüsse ableiten. Wo endlich auch dies nicht zum Ziele führt, sind wir auf eine Kombination des wahrscheinlichsten Vorganges nach Analogien und aus den allgemein gültigen physikalischen und chemischen Gesetzen angewiesen. Wir müssen in einzelnen Fällen den deduktiven Weg betreten, aber es ist dabei unerläßlich, sich stets daran zu erinnern, daß wir damit die eigentlich naturwissenschaftliche Methode der Induktion verlassen, und daß unsere Schlüsse unsicher sind und um so unsicherer werden, je weiter wir die Reihe solcher Folgerungen ausdehnen.

Der Zweig der Geologie, welcher die Gesetze der Massenveränderung und die dabei wirksamen Kräfte untersucht, wird als die dynamische Geologie bezeichnet. Wenn wir die Gesamtheit aller derjenigen Kräfte überblicken, welche auf die Gestaltung der Erde einwirken, so sehen wir sofort, daß dieselben in zwei Gruppen zerfallen, in solche, welche ihren Sitz und Ursprung in der Erde selbst haben, und in solche, welche eine Einwirkung von außen, von fremden Himmelskörpern, vor allen von Sonne und Mond, darstellen; wir sehen tellurische und siderische (tellus, der Erdboden; sidus, das Gestirn) Kräfte in Thätigkeit. Die Wärme der Sonne veranlaßt die Verdampfung von Wasser, dessen Niederfall als Regen oder Schnee, die Zirkulation der Gewässer in Quellen, Flüssen und Meeresströmungen; ihr verdanken wir den Wechsel von Frost und Hitze, die Bewegung der Atmosphäre, die Vegetation und das tierische Leben, die in so tiefgreifender Weise als Faktoren geologischer Veränderung hervortreten; der Mond in Verbindung mit der Sonne bewirkt den Wechsel von Ebbe und Flut im Meere. Wenn wir die Thätigkeit dieser verschiedenen Agenzien ins Auge fassen und ihre Wirkung untersuchen, so finden wir sie der Hauptsache nach darin bestehend, daß an relativ höher gelegenen Punkten der Erdoberfläche fertige Gebilde zerstört und ihr Material den tieferen Regionen: Thälern, Niederungen, dem Meere, zugeführt und hier wieder abgelagert werden.

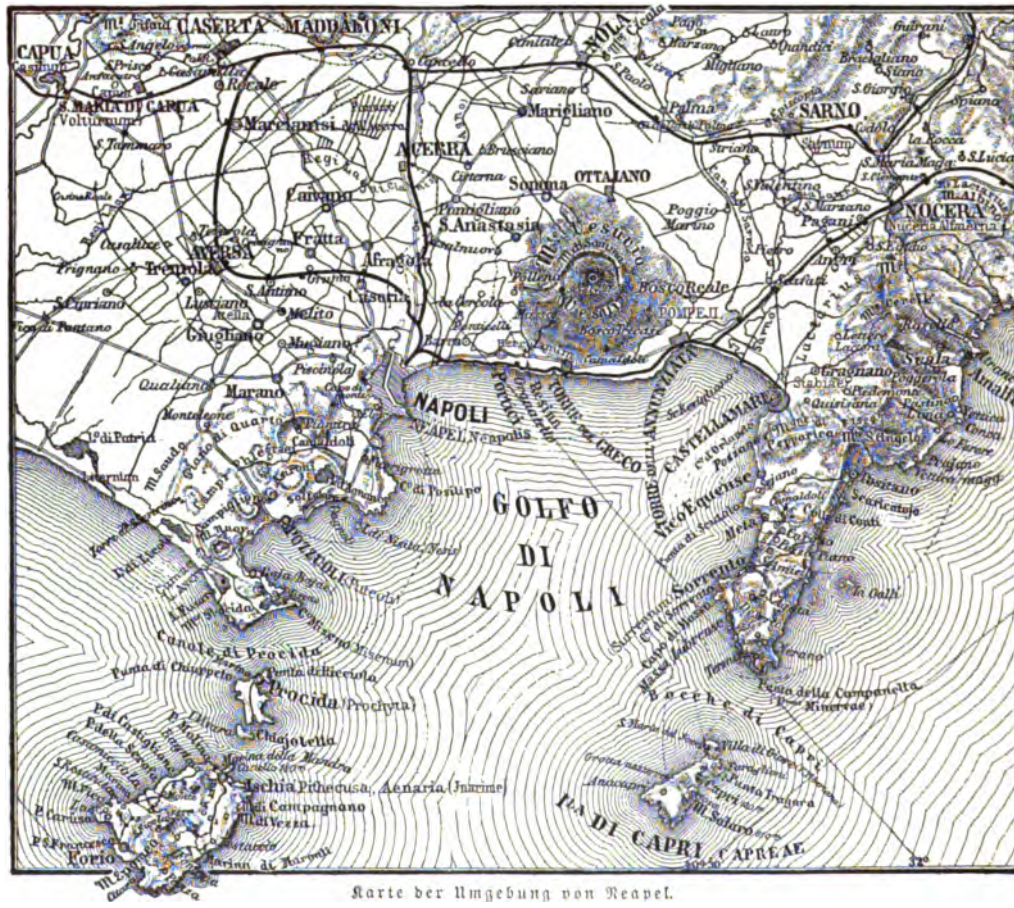
Ganz anders die tellurischen Kräfte; hier treten uns entgegen der Vulkanismus, die Erdbeben, Gebirgsbildung im weitesten Sinne, lauter Erscheinungen, die wir weder auf die Wärme der Sonne noch auf die Anziehung benachbarter Gestirne zurückführen können und daher mit Vorgängen im Inneren unseres Planeten in Verbindung bringen müssen. Hier begegnen wir ganz anderen Ergebnissen: der Vulkanismus häuft gewaltige Bergkegel an und bringt aus der Tiefe Lava, Felsblöcke, Asche empor, welche sich an der Oberfläche ausbreiten; der Gebirgsbildung verdanken wir die gewaltigen Ketten, welche unsere Kontinente durchziehen, und selbst die Erdbeben, welche gewöhnlich durch die Verschiebung von Teilen der Erdrinde gegeneinander entstehen, gehören zu denjenigen Erscheinungen, welche der Entstehung oder Vermehrung, nicht der Ausgleichung von Höhenunterschieden an der Oberfläche dienen. So führt uns schon eine sehr einfache Betrachtung zu dem Resultat, daß an der Gestaltung der Erde, an der Hervorbringung geologischer Erscheinungen zwei ganz verschiedene Arten von Kräften arbeiten, welche der Hauptsache nach sich entgegenwirken: die tellurischen Kräfte geben der Erde Relief, sie erzeugen Unebenheiten; die siderischen ebnen ein, sie nivellieren, und so sehen wir in der jeweiligen Oberflächenbeschaffenheit der Erde den momentanen Gleichgewichtszustand, welcher aus dem Widerstreit jener beiderlei Kräfte entspringt.

Der Vesuv.

Wir wenden uns vor allem der Betrachtung der Vulkane zu, der auffallendsten unter allen geologischen Erscheinungen, welche in kürzester Zeit die großartigsten Wirkungen hervorbringen. Ihre Verbreitung ist eine überaus große, wir kennen sie aus allen Weltteilen, und nahe an 300 sind bekannt, die noch jetzt aktiv sind, während 400—500 weitere aufgezählt werden können, welche in historischer Zeit ausgebrochen sind, oder bei welchen Krater, Lavaströme und lose Auswurfsprodukte so frisch erhalten sind, daß man sicher auf eine noch in jüngst vergangener Zeit rege Thätigkeit schließen kann.

Auf dem europäischen Festland ist nur ein jetzt thätiger Vulkan vorhanden, der Vesuv; außerdem haben wir noch für die Phlegräischen Felder und für Methana in Griechenland bestimmte Nachrichten über Ausbrüche in historischer Zeit. Jedenfalls ist der Vesuv unter allen

Feuerbergen am häufigſten beſucht und am beſten bekannt, von ihm iſt das Studium der Vulkane ausgegangen, und da er ſamt den nahegelegenen Phlegräiſchen Feldern die meiſten Erſcheinungen in ſehr klarer Weiſe erkennen läßt, ſo mag dieſe Gegend als Ausgangspunkt für unſere Betrachtung der Vulkane dienen. Wer die Gegend von Neapel (ſ. untenſtehende Karte) geſehen hat, dem ſind auch gewiß die phyſiognomiſchen Kontraſte aufgefallen und im Gedächtnis geblieben, welche ſich zwiſchen den einzelnen Teilen der Umrandung des Golfes ergeben und durch ihre gegenſätzliche Wirkung einen Hauptanteil an dem landſchaftlichen Zauber dieſer ſchönſten Meeresbucht



Karte der Umgebung von Neapel.

haben. Wenn man von Neapel ſelbſt, etwa vom Strande neben dem Aquarium, gegen das Meer hinausblickt, dann hebt ſich in der Ferne ein hoher, zackiger, aus hellen Kalken gebildeter Bergzug als ein durchaus von der ganzen Umgebung verſchiedenes Element ab; es iſt die Kette des Monte Angelo, der Mons Lactarius der Alten, der aus der Gegend von Salerno und Amalfi herüberzieht und an ſeinen Gehängen Caſtellamare und Sorrento trägt; er endet am Kap der Minerva (Punta della Campanella), ſeine Fortſetzung bildet die Inſel Capri. Dieſer Zug hellen, meiſt der Kreideformation angehörigen Kalkes, der den Golf nach Südſüdoſten begrenzt, bildet einen Ausläufer des Apennin, und iſt eine marine Ablagerung aus alter Zeit, die mit den vulkaniſchen Erſcheinungen nicht das mindeſte zu thun hat.

Der Lauf des Sarno und ſeine breiten Anſchwemmungen trennen dieſe Region der Apenninenkalke vom Veſuv; der gewaltige Aſchenkegel, und der Halbkreis des Monte Somma, die beide

unvermittelt mit ihrer schwarzen Masse aus der sie rings umgebenden Niederung aufsteigen, zeigt den schönsten Typus eines lange Zeit hindurch in Thätigkeit begriffenen Vulkans und bildet den auffallendsten und lehrreichsten Kontrast gegen die langgezogene Mauer des Mons Lactarius. Ein dritter Typus schließt sich nach Westen an; hier tritt wieder keine Andeutung selbständiger Eruptionspunkte auf, obwohl vulkanisches Material allenthalben den Grund bildet; es sind nur die Aufschüttungen loser Auswürflinge, Asche, Sand und sogenannter Lapilli, welche, aufgehäuft und durch Wasser zu vulkanischen Tuffen verfestigt, den Boden der Campagna Felice zusammensetzen.

Jenseits von Neapel, wenn wir den Rücken des Posilippo überschreiten, treffen wir dann wieder auf die deutlichen Spuren vulkanischer Thätigkeit; von der Insel Nisita und Camaldoli ziehen sich zahlreiche kleinere und größere Krater bis zum Kap Miseno. In der Pianura von Camaldoli, der Solfatara, dem Astroni, Gaurus, Monte Nuovo, dem Averner und Agnaner See und zahlreichen anderen haben wir Ausbruchsöffnungen eines und desselben Gebiets, eines Herdes, dessen Auswurfsprodukte aber nicht wie beim Vesuv von einer einzigen Zentralstelle, sondern aus einer Menge fortwährend neu sich bildender und wieder erlöschender Schlünde austreten; infolgedessen wurde auch kein gewaltiger Berg aufgeschüttet, sondern das ganze Land von einer Menge nebeneinander stehender Kegel bedeckt. Die Inseln Procida und Ischia, die Fortsetzung der Phlegräischen Felder, nähern sich dann wieder den Kalken der Insel Capri und schließen so den gewaltigen Kreis der Bucht von Neapel.

Der Vesuv hat an seinem Fuß einen Umfang von ungefähr $3^3/_4$ geogr. Quadratmeilen; bis zu einer Höhe von 595 m über der Meeresfläche erhebt er sich als ein flacher, sanft ansteigender Kegel, der den zwei Hauptteilen des Berges, dem Monte Somma und dem eigentlichen Vesuvkegel, zur gemeinsamen Basis dient. Die Somma bildet einen halbkreisförmigen Ringwall, der nach außen, gegen die Orte Somma, Ottajano ꝛc., sanft abfällt, nach innen, nach dem zentralen Kegel aber in furchtbaren Steilwänden niederstürzt. An seinen beiden Enden erscheint dieser Halbkreis abgebrochen; die andere Hälfte des Ringes bildet eine flache, rings um den ganzen Vesuv herumlaufende Terrasse, Le Piane, eine Gegend, die jedem Besucher des Vesuvs wohlbekannt ist, denn der ziemlich ebene Weg, der vom Observatorium zum gewöhnlichen Anstiegspunkt des Aschenkegels und zu der Station der neuerrichteten Seilbahn führt, verläuft auf dieser Stufe.

Im Zentrum des Kreises, welchen der Monte Somma und die Terrasse der Piane bilden, erhebt sich der Hauptgipfel des Vesuvs, ein steil unter einem Winkel von 30—31° ansteigender Kegel, der den jetzigen Krater trägt. Vom Monte Somma ist er durch die überaus wilde halbkreisförmige Schlucht des Atrio del Cavallo getrennt, welche von der Somma um ungefähr 300 m, vom Zentralgipfel jetzt um 480 m überragt wird. Natürlich gestaltet sich die Ansicht des Berges je nach der Seite, von der man ihn betrachtet, sehr verschieden; von Neapel aus zeigt er die bekannte doppelgipfelige Form (links die Somma, rechts der Aschenkegel), in welcher sich die Somma auch verkürzt als ein Kegel darstellt, indem der Abfall gegen den Vesuv nicht durch die Steilwände des Atrio, sondern durch den gegen das Observatorium sich senkenden Hauptkamm der Somma gebildet wird. Allein schon auf kurze Entfernung verschiebt sich das Bild; schon jenseit des Posilippo, etwa von der kleinen Insel Nisita aus, scheinen Somma und Vesuv einen zusammenhängenden Zug zu bilden. Die Abbildung auf S. 138 zeigt nach einer Photographie den Umriß des Berges von diesem Standort aus. Sie bietet insofern Interesse, als sie in auffallender Weise zeigt, wie sehr das Auge Höhe und Schroffheit der Berge zu überschätzen pflegt. Wer die neue Posilippostraße gegen Puzzuoli entlang gewandert ist und aus der Gegend, in welcher die Aufnahme gemacht ist, den Vesuv betrachtet hat, der bewahrt das Bild einer gewaltig

dominierenden, weit über den Horizont aufragenden Erhebung von großer Steilheit im Gedächtnis; allein die unerbittliche Camera des photographischen Apparats zeigt uns eine flache Anschwellung des Bodenreliefs, die sich nur in unmittelbarer Nähe des Gipfels etwas schärfer erhebt, und lehrt die vollständige Unzulänglichkeit des Augenmaßes bei Beurteilung von Berghöhen erkennen. Wieder eine andere Form nimmt der Vesuv an, sobald man ihn von anderen Seiten betrachtet; vom Eingang des Golfes von Neapel aus gesehen, steht der Kegel gerade vor der Mauer der Somma, während er von dieser gedeckt wird, wenn man sich vom Binnenland aus von Nordosten hernähert.

Die Somma behält ihre Form und ihre Höhe bis auf die unmerklichen Veränderungen, welche die Verwitterung mit sich bringt, bei; seit 1800 Jahren dürfte sie sich annähernd gleichgeblieben sein. Ganz anders der zentrale Kegel, dessen Umriß und Größe steten Schwankungen unterworfen sind; seine jetzige Gestalt hat er der Hauptsache nach bei dem Ausbruch von 1872 erhalten. Wir werden diesen Zustand noch näher kennen lernen, allein es wäre bei einer Erscheinung, die im Laufe der Jahre fortwährendem Wechsel unterworfen ist, nur von geringem

Der Vesuv, von der Insel Nisita gesehen. Vgl. Text, S. 137.

Werte, die ephemere Bildung des heutigen Tages zu schildern; wir müssen die einzelnen Gestaltungen betrachten, welche der jetzigen vorausgingen und in dieser ihren momentanen Abschluß finden. Indem wir die Geschichte des Vesuvs, die weitaus besser als die irgend eines anderen Vulkans bekannt ist, in ihren einzelnen Phasen an uns vorübergehen lassen, lernen wir auch das Wesen der vulkanischen Eruptionen überhaupt an diesen Beispielen kennen.

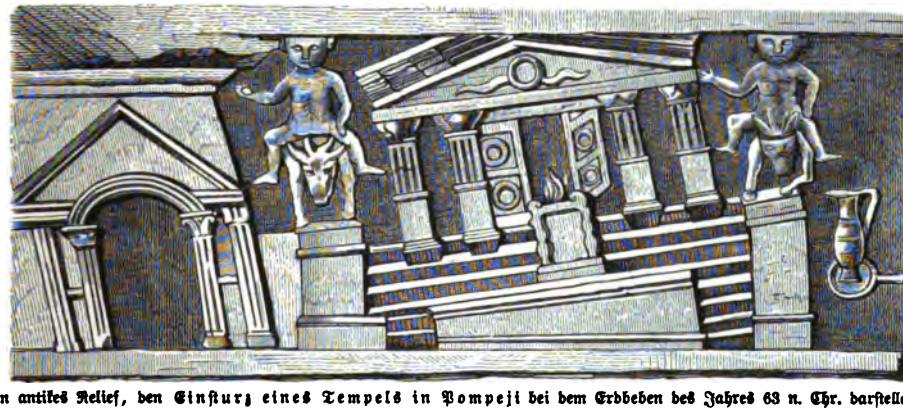
Der erste Ausbruch, von dem wir wissen, fand im Jahre 79 nach Christo statt. Es ist jene berühmte Katastrophe, bei welcher Pompeji, Herculaneum und Stabiä verschüttet wurden. Vorher scheint eine viele Jahrhunderte umfassende Periode der Ruhe stattgefunden zu haben, da von einer früheren Eruption nur wenige Andeutungen in Schriftstellern, keine Traditionen bei den Umwohnern vorhanden waren, wenn auch ein scharfsinniger Gelehrter jener Zeit nach der Beschaffenheit der Gesteine den Berg als einen erloschenen Vulkan bezeichnet hatte.

Die ersten Vorboten des Ausbruchs waren im Jahre 63 n. Chr. Erdbeben, welche die Umgegend verwüsteten und einen Teil von Pompeji zerstörten; die Stadt wurde aber rasch wieder aufgebaut. Man hat auf einem Votivaltar eine Basreliefdarstellung (vgl. die Abbildung auf S. 139) gefunden, welche den Einsturz eines der Tempel des Forums darstellt und welche bei Berücksichtigung der Topographie von Pompeji nach der Richtung des Falles zeigt, daß man es mit einem ostwestlich gerichteten Stoß zu thun habe, ein Schluß, der auch durch die Richtung der Sprünge in den Gebäuden Bestätigung findet.

Sechzehn Jahre später, im Jahre 79, trat der Berg in eigentliche eruptive Thätigkeit, er entwickelte sofort, wie das sehr häufig vorkommt, nach der sehr langen Ruhe einen Paroxysmus der furchtbarsten Art, über dessen Verlauf uns mehrere Nachrichten vorliegen, vor allen zwei Briefe des jüngeren Plinius an Tacitus. Plinius hatte als junger Mann zu Misenum

diese schrecklichen Ereignisse mit erlebt, bei welchen sein großer Onkel, der ältere Plinius, zu Grunde ging. Ein heftiges Erdbeben eröffnete die Katastrophe; dann erhob sich aus dem Krater eine gewaltige Wolke, hauptsächlich aus weißem Wasserdampf bestehend, aber vielfach durch die mit ausgeworfenen Steine und vulkanische Asche schwarz gefärbt und von einer Gestalt, die Plinius mit einer Pinie vergleicht (vergl. auch Abbildung, S. 140), eine riesige Dampfsäule, die dann in der Höhe, wo die Triebkraft von unten erlahmt, sich ausbreitete, Asche und Steine fallen ließ und den Wasserdampf in gewaltigen Regengüssen unter fortwährenden Blitzen von furchtbarer Stärke niedersendete. Diese sehr charakteristische Wolkenbildung wird noch heute in allen Werken stets mit dem ihr von Plinius gegebenen Namen als Pinienwolke bezeichnet.

Die Erdbeben dauerten fort und wurden immer stärker, nahmen aber ab, als die Ascheneruption ihren Höhepunkt erreichte; die Menge der ausgeschleuderten Asche und der Bimssteinstückchen nahm derartig zu, daß sie auch auf der anderen Seite des Golfs von Neapel, bei Misenum, die Sonne verfinsterten, daß am hellen Tage eine Dunkelheit eintrat, „nicht wie in einer

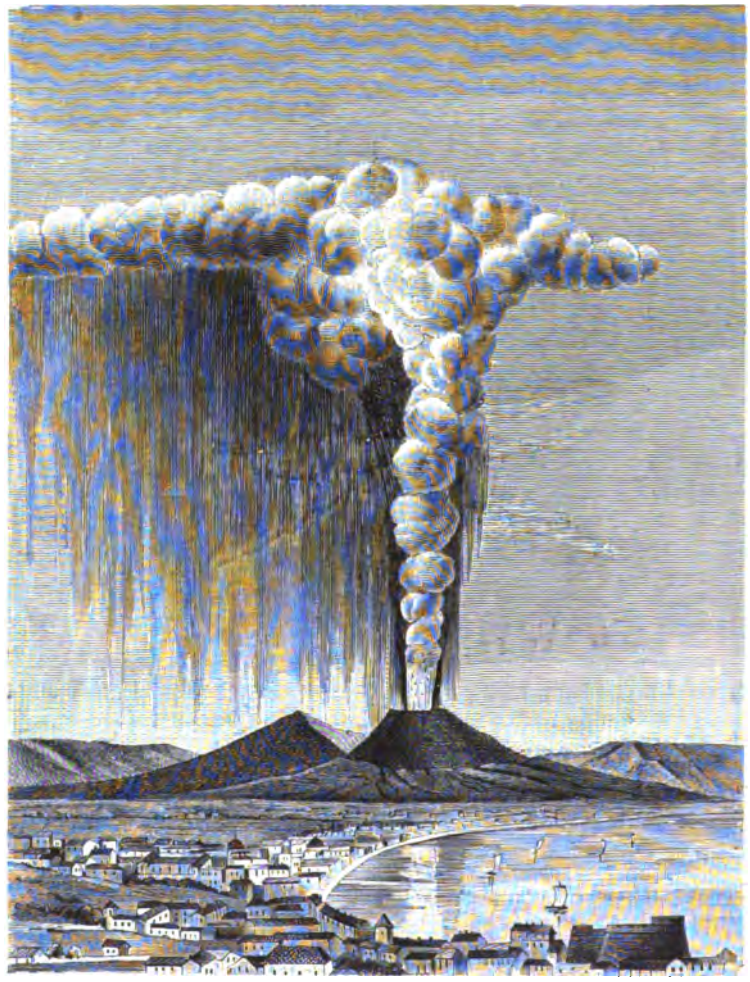


Ein antikes Relief, den Einsturz eines Tempels in Pompeji bei dem Erdbeben des Jahres 63 n. Chr. darstellend. (Nach de Rossi.) Vgl. Text, S. 138.

mondlosen, wolkigen Nacht, sondern wie wenn man an verschlossenen Orten das Licht auslöscht", und daß man in dieser weiten Entfernung „oft vom Boden aufstehen und die Asche abschütteln mußte, um nicht zugedeckt und von ihrer Last erdrückt zu werden", und „alle Gegenstände von der Asche wie mit Schnee bedeckt waren". Lava wurde, wie es scheint, gar nicht oder doch nur in sehr unbedeutender Menge ausgestoßen, und es ist ja wohl jetzt allgemein bekannt, daß Pompeji und die Schwesterstädte nur durch Asche und die Masse der kleinen Steinchen, der sogenannten Lapilli oder Rapilli, verschüttet wurden. Vermutlich wurde dieses Material durch das Wasser der aus der „Pinie" niederstürzenden Regengüsse zu einer schlammigen Masse umgewandelt, die sich stromartig den Berg herabwälzte und alles umhüllte. Auf diese Weise erklärt es sich, daß sich ein Tuff bildete, der alles umschloß und dann bei der Erhärtung die Gegenstände abformte, so daß man z. B. durch Eingießen von Gips in die Hohlräume das vollständige Modell der verunglückten Menschen erhalten konnte.

Es ist durchaus kein isolierter Fall, daß in scheinbar paradoxer Weise bei dem Ausbruch des Feuerbergs vor allem das Wasser verderblich wirkte; diese Erscheinung wiederholt sich sehr oft, und man kann ganz allgemein sagen, daß die aus der Vulkanwolke herabbrausenden Fluten entweder für sich allein oder mit der Asche zu Schlammströmen gemengt mindestens ebenso schreckliche Zerstörungen anrichten wie die Lava. Wir werden unten eine der furchtbarsten Katastrophen dieser Art kennen lernen, die sich im Jahre 1823 am Gunung Gelungung auf Java ereignete.

Man hat bisher ziemlich allgemein angenommen, daß die Somma vor der plinianischen Eruption einen geschlossenen Kraterring gebildet habe. Erst bei diesem Ausbruch sei der südwestliche Teil der Somma eingestürzt. Zwei in Pompeji und Herculaneum erhaltene Wandgemälde, auf die neuerdings P. Franco die Aufmerksamkeit gelenkt hat, scheinen jedoch darauf hinzudeuten, daß die schiefe Abstutzung der Somma schon vor der Eruption des Jahres 79 vorhanden war und daß also schon früher Eruptionen eingetreten sein müssen, welche durch eine leichte Verschiebung der Eruptionsachse eine teilweise Zerstörung des Sommaringes bewirkt hatten. Die Anlage des etwas exzentrisch gestellten Innenkegels ist der plinianischen Eruption zuzuschreiben. Mit dieser war auch in anderer Beziehung eine Änderung der Verhältnisse verbunden. Waren vorher durch die Thätigkeit der Somma nur kieselsäurereiche trachytische Laven zur Oberfläche gebracht worden, so lieferte der Innenkegel fortan nur leucitisches Material. Die Somma hatte seit dieser Zeit keine Ausbrüche mehr, dieselben geschahen stets aus dem Krater oder von den Seiten des zentralen Gipfels; trat Lava aus, so floß sie entweder auf der südlichen Seite unmittelbar nach abwärts, oder sie ergoß sich in die Schlucht zwischen Kegel und Somma, in das Atrio del Cavallo, dessen Sohle dadurch fortwährend erhöht wird, und aus dessen Ausgängen bei hinreichender Masse der Feuerstrom entweder nach Westen, am Observatorium vorbei, oder nach Osten, in der Richtung gegen Pompeji, ins Freie gelangt.



Pinienwolke des Vesuvs im Jahre 1822. (Nach Poulett Scrope.) Vgl. Text, S. 139.

Das Höhenverhältnis zwischen Somma und Vesuv ist ein stets wechselndes, gewöhnlich ist der letztere höher und baut sich in Zeiten gemäßigter Thätigkeit durch die Anhäufung der ausgeworfenen Aschen und Steine immer weiter auf, während bei heftigen Ausbrüchen in der Regel ein Stück verloren geht und dann der Aschenkegel zeitweilig auch niedriger ist als die Somma.

Wir haben eine ziemliche Anzahl von Höhenbestimmungen, welche dieses Verhältnis sehr deutlich zeigen. Die Höhe betrug:

1749: 1160 Meter	Februar 1846: 1193 Meter	August 1847: 1240 Meter
1810: 1249 "	März 1846: 1196 "	1850: 1291 "
1822: 1269 "	Juli 1846: 1219 "	1855: 1286 "
1832: 1140 "	Januar 1847: 1222 "	1855: 1234 "
1845: 1182 "	März 1847: 1237 "	1868: 1297 "

Kurz nach der Messung im Jahre 1822 trat eine sehr heftige Eruption ein, bei welcher der oberste Teil des Gipfels fast bis zum Niveau der Somma herab einstürzte; dann folgt ein allmähliches Aufbauen, dessen Fortschritte namentlich durch die von Amati in der Mitte der vierziger Jahre gemachten Messungen sehr deutlich hervortreten. Der Ausbruch vom Jahre 1855 macht sich wieder durch einen Verlust von fast 60 m bemerkbar; dann folgt wieder Aufbau, und im Jahre 1868 finden wir die bedeutendste Erhebung, allein die Katastrophe des Jahres 1872 stürzte wieder einen Teil der Neubildung in den Krater hinab. Allerdings überragte in der ganzen Zeit, aus der uns diese Messungen vorliegen, der Aschenkegel den 1110 m hohen Gipfel der Somma, aber z. B. nach den Ausbrüchen von 1631 und 1737 waren so große Teile des ersteren eingestürzt, daß letztere jenen entschieden überragte.

Im ganzen werden aus der Zeit vom Untergang Pompejis bis zum 17. Jahrhundert acht Eruptionen genannt, die teilweise durch sehr lange Pausen vollständiger Ruhe voneinander geschieden waren. Es zeigt sich dabei die sehr merkwürdige Erscheinung, daß gerade in solchen großen Unterbrechungen der Vesuvthätigkeit Ausbrüche aus anderen benachbarten Schlünden, in den Phlegräischen Feldern und auf Ischia, stattfanden; im Jahre 1198 war die Solfatara bei Puzzuoli in Thätigkeit, 1302 der Monte Epomeo auf Ischia, und 1538 schütteten gewaltige Block- und Aschenauswürfe den Monte Nuovo bei Puzzuoli auf, während vom Vesuv in der Zeit von 1139—1631 eine einzige unbedeutende Ascheneruption um 1500 erwähnt wird. Die Jahreszahlen, an welche sich Vesuvausbrüche knüpfen, sind: 203, 472, 512, 685, 993, 1036, 1139 und 1500. Die Berichte aus jener Zeit sind überaus dürftig und bieten wenig Interesse, doch verdient die riesige Entfernung erwähnt zu werden, auf welche nach Procopius die Asche vom Wind geführt wurde; 472 flog sie bis Konstantinopel, bei einem anderen Ausbruch (512?) bis Tripolis an der afrikanischen Küste.

Während der kaum gestörten fünfhundertjährigen Ruhe vom 12. bis zum 17. Jahrhundert hatte sich der Berg mit Vegetation bekleidet, selbst im Krater stand ein Wald von alten Bäumen, Eichen, Steineichen und Eschen, nur einzelne Fumarolen (Dampfausströmungen) und drei Pfützen mit teils warmem, teils salzigem oder bitterem Wasser erinnerten an die frühere Thätigkeit; nichts ließ gegen Ende des Jahres 1631 ahnen, daß man am Vorabend des schrecklichsten Vesuvausbruchs stehe, der je stattgefunden hat. Wenige Tage vor demselben wird von einem unterirdischen Rauschen berichtet, auf der Nordwestseite hatte sich eine Spalte gebildet, aus welcher Dämpfe aufstiegen, und der Krater soll sich gefüllt haben; doch niemand vermutete nach diesen wenigen Anzeichen das Herannahen einer Gefahr. Am Abend des 15. Dezember 1631 begannen Erdbeben, zuerst sehr schwach, dann stärker und immer stärker; ihrer 20 erfolgten bis 5 Uhr des folgenden Morgens. Kurz vor Sonnenaufgang spaltete sich mit furchtbarem Getöse die Südseite des Berges etwas oberhalb des Atrio del Cavallo; Dampf, Asche, Steine wurden mit rasender Gewalt ausgeworfen, nach einigen Augenzeugen wurde ein Teil des Berges in die Luft geblasen. Eine Pinienwolke bildete sich, rasch breitete sie sich aus und verfinsterte die Sonne; um 11 Uhr fiel Aschenregen in der Basilicata, um 2 Uhr in Tarent, am Morgen des 17. wird er von Cattaro in Dalmatien gemeldet, am 16. fiel Asche auf das Verdeck von Schiffen im Golf

von Volo in Theſſalien. Selbſt mächtige Steinblöcke wurden auf große Entfernung geſchleudert, einer derſelben, ſo ſchwer, daß er die Decke eines Kellers zertrümmerte, fiel in einer Entfernung von 12 Miglien herab, und die niederſtürzenden glühenden Maſſen verbrannten alles in Nola, Palma, Lauro, Ottajano und anderen Orten; gleichzeitig fanden unausgeſetzt heftige Erdbeben ſtatt, die ſich bis Kalabrien und Apulien ausdehnten.

Allein erſt am 18. Dezember erreichten die Schreckniſſe ihren Höhepunkt; nach einem äußerſt heftigen Erdbeben ſtürzte ſich eine ungeheure Lavaflut aus dem Krater, die in mehreren Armen gegen das Meer herabſtrömte und den Weg bis dahin in weniger als einer Stunde zurücklegte. 3000 Menſchen wurden getötet, ein Strom zerſtörte Bosco und Torre dell' Annunziata, ein zweiter den größten Teil von Torre del Greco, ein dritter Portici und Reſina, und alle drei ſchoben ſich noch mehrere hundert Meter ins Meer vor. Ein vierter Strom ſcheint ſich nach neuaufgefundenen Dokumenten über Maſſa di Somma, San Sebaſtiano, Santa Anaſtaſia am Nordoſtabhang des Veſuvs ausgebreitet zu haben. Derſelbe ſoll aus der Grotta dei corvi am Monte Somma hervorgebrochen und bis Pomigliano d'Arco gefloſſen ſein. Merkwürdigerweiſe ſollen ſich unmittelbar nach der Lava aus dem Krater rieſige Waſſerfluten ergoſſen haben, welche Meeresalgen, Muſcheln und ſelbſt Fiſche mitbrachten, und ſich am 18., 20., 24. und 31. Dezember wiederholten (?). Während der letzten Tage des Jahres kamen noch bisweilen Erdbeben und Auswürfe von Aſche vor, auch von furchtbaren Regengüſſen und heftigen Orkanen wird berichtet; dann trat Ruhe ein. Als ſich am 19. Dezember die durch den Aſchenauswurf erzeugte Dunkelheit etwas erhellte, bemerkte man, daß ein großer Teil des Kratergipfels eingeſtürzt ſei; er hatte vor der Kataſtrophe um etwa 40 m die Somma überragt, jetzt war er um etwa 130 m niedriger als dieſe, er hatte alſo 170 m an Höhe verloren.

Nach dieſem furchtbaren Ausbruch ereigneten ſich in den nächſten Jahren noch einige weitere, dann folgte von 1638—60 eine Ruhepauſe. In dem letzteren Jahre fand wieder ein größerer Ausbruch ſtatt, und ſeitdem iſt der Veſuv faſt in beſtändiger Thätigkeit, ſo daß kaum ein Zeitraum von zehn Jahren zu nennen iſt, der ohne Ausbruch geblieben wäre; heftigere und ſchwächere Eruptionen wechſelten miteinander ab, im Jahre 1734 ſtürzte ein beträchtlicher Teil des Berges in die Tiefe. Die Eruption von 1794 iſt ſchon an ſich ſehr bedeutend, ſie wird aber beſonders wichtig durch den wunderbaren Bericht, den uns L. von Buch von dieſem großartigen Ereignis gegeben hat:

„Unter den vielen Ausbrüchen des Veſuvs ſind doch nur zwei bekannt, denen die Eruption von 1794 an furchtbarer Größe weicht. Durch die erſtere von dieſen wurden das reiche Herculanum und die Seeſtadt Pompeji zerſtört und dem Meere neue Grenzen beſtimmt. Die zweite, im Jahre 1631, ſtürzte faſt unzählbare Feuerſtröme über die in Menge um den Fuß des Vulkans gelagerten Ortſchaften. Alle fruchtbaren Pflanzungen wurden gänzlich zerſtört, und faſt die Hälfte der Einwohner verlor in den Flammen das Leben.

„Beide erſchienen, als bei den anwohnenden Menſchen jede Überlieferungsſpur von dem im Inneren des Berges verborgenen Zerſtörungsquell durch die Länge der Zeit faſt völlig verwiſcht war. Aber in neueren Zeiten hat der Vulkan faſt jährlich neue und große Phänomene gezeigt, und es lebte in der Gegend faſt niemand, der nicht die Verwüſtungen mehrerer Ausbrüche ſelbſt empfunden und beobachtet hätte. Und doch konnte eine zweijährige Ruhe des Berges, in der ſein Gipfel auch nicht einmal dampfte, die Einwohner in ſo große Sorgloſigkeit ſtürzen, daß ſie den Veſuv auch dann noch gänzlich vergaßen, als ſie am 12. Juni um 11½ Uhr in der Nacht plötzlich ein heftiges Erdbeben aufſchreckte.

„Der Boden in der ganzen Ebene Kampaniens ſchwankte wie flüſſige Wellen von Morgen nach Abend. Die Neapolitaner ſtürzten aus den Häuſern auf die großen Plätze des Palazzo

Reale, bei Mercato, delle Pigne. Sie glaubten im nächsten Augenblicke ihre Häuser zu Boden geworfen, und angstvoll erwarteten sie im Freien den Morgen, Kalabriens Schicksal befürchtend. Als ihnen aber die Sonne hell aufging und sie den Vulkan in der gewohnten Ruhe erblickten, glaubten sie den Ruin der südlichen Provinzen des Reiches befürchten zu müssen und leiteten von dorther die Erscheinungen der vergangenen Nacht. Aber nicht lange währte ihr Irrtum. Drei Tage darauf, am 15. Juni um 11 Uhr in der Nacht, erbebte die Erde von neuem; es war nicht mehr ein wellenförmiges Schwanken wie vorher, es war ein unregelmäßiger Stoß, der die Gebäude zerriß, die Fenster klirrend erschütterte und gewaltsam die inneren Gerätschaften durcheinander stürzte. Und sogleich erhellten rote Flammen und leuchtende Dämpfe den Himmel.

„Der Vesuv war am Fuße des Kegels geborsten, und von den Dächern der Häuser sah man die Lava in paraboliſchen Bogen hervorspringen. Fortwährend hörte man einen dumpfen, aber heftigen Lärm, wie den Katarakt eines Flusses in eine tiefe Höhle hinab, unaufhörlich schwankte der Berg, und eine Viertelstunde darauf hörte auch in der Stadt nicht mehr die Erschütterung auf. Mit solcher Wut hatte man noch nie die Lava hervorbrechen sehen. Das reizbare Volk, das sich nicht mehr auf festem Boden, die Luft in Flammen und voll schrecklicher, nie gehörter Töne erblickte, stürzte, von Furcht und Schrecken ergriffen, zu den Füßen der Heiligen in Kapellen und Kirchen, griff nach Kreuzen und Bildern und durchzog heulend die Stadt in wilder Verwirrung. Der Berg achtete ihres Angstgeschreies nicht, es sprangen immer neue Öffnungen auf, und mit gleichem Lärme und gleicher Gewalt stürzte daraus die Lava hervor. Rauch, Flammen, Dampf erhoben sich zu ungeheuern Höhen jenseit der Wolken und verbreiteten sich dann auf den Seiten in Form einer unermeßlichen Pinie, wie zu Plinius' Zeiten.

„Nach Mitternacht verlor sich dieses unausgesetzte fürchterlich dumpfe Getöse, mit ihm die stete Erschütterung und das Schwanken des Berges; die Lava brach jetzt stoßweise aus den Öffnungen hervor, aber in schnell hintereinander sich folgenden Stößen mit donnerähnlichem Knalle. Die sie so gewaltsam und tobend hervorstoßenden elastischen Mächte schleuderten unzählige große Felsstücke zu erstaunlicher Höhe hinauf in die Luft, und neue Flammen und schwarze Rauchwolken folgten diesen zertrümmerten Felsen.

„Nach und nach folgten die Stöße seltener hintereinander, aber ihre Kraft verdoppelte sich, und zuletzt schien der ganze Berg nur eine Batterie zugleich abgeschossener Artilleriestücke zu sein. Und während dieses gewaltsamen Donnerns, schon nach Mitternacht, sah man auch die jenseit des Vulkans gelegene Atmosphäre erleuchtet. Die Lava, ungeachtet der Verwüstungen auf dieser Seite des Berges, sprengte auch den jenseitigen Abhang noch tiefer am Berge herab und weiter vom Gipfel und stürzte mit Gewalt aus der Öffnung in eine weite Schlucht, welche schon ältere Laven verwüstet hatten, gegen Mauro hinab. Sie wütete in den Waldungen am Ausgange des Thales, verbreitete sich auf der weniger sich neigenden Fläche, fing dann langsamer zu fließen an, und nach drei Tagen erstarrte sie gänzlich, ohne Wohnungen erreichen zu können.

„Nicht so die donnernde Lava gegen Neapel. Sie stürzte mächtig und schnell vom Abhange herab. Jede Explosion aus den Kratern drängte eine neue Masse von Lava herauf, die, sich dem Strome zu werfend, ihm neue Kraft und Stärke zu geben schien. Die Hälfte der Einwohner von Resina, Portici, Torre del Greco starrte mit fürchterlich ängstlicher Erwartung auf jede kleine Bewegung des Feuerstromes, dessen Richtung bald diesen, bald jenen Ort zu bedrohen schien; die andere Hälfte lag hingeworfen vor den Altären, sich Rettung vor der schrecklichen Lava zu erflehen. Plötzlich richtete die ganze Masse ihren Lauf genau auf Resina und Portici zu. Alles Lebendige in Torre del Greco stürzte in die Kirchen, dem Himmel für die geträumte Rettung zu danken; in ihrer unmäßigen Freude vergaßen sie den dann notwendigen Untergang ihrer Nachbarn. Aber ein tiefer Graben stellt sich dem Laufe der Lava entgegen, sie folgt seiner Richtung,

und er öffnet sich auf der Höhe über das unglückliche, sich gerettet glaubende Torre del Greco. Mit neuer Wut fällt der Strom den steileren Abhang hinab. Er trennt sich nicht mehr, und mit 2000 Fuß Breite erreicht er die blühende Stadt. Im nächsten Augenblicke suchen 18,000 Menschen Schutz auf dem Meere. Noch ehe sie das Ufer verlassen, sehen sie über den eingestürzten Dächern der Häuser aus der Mitte der Lava hervor sich dicke schwarze Rauchsäulen erheben und große Flammen wie Blitze. Paläste und Kirchen stürzten krachend zusammen, und fürchterlich donnerte dazwischen der Berg.

„Um 11 Uhr in der Nacht brach die Lava aus dem Inneren hervor, und schon um 5 Uhr morgens war Torre del Greco nicht mehr. In 6 Stunden hatte die glühende Masse 4 italienische Meilen durchlaufen, eine noch nie erhörte Geschwindigkeit in der Geschichte des Berges. Das große Meer selbst vermochte es kaum, der Lava Grenzen zu setzen. Mächtig wälzte sich der obere Teil, indem der untere im Wasser erstarrte, über den erkalteten weg. Weit umher siedete das Wasser, und gekochte Fische in unzähliger Menge bedeckten die Fläche.

„Mitten unter diesen Verwüstungen brach der neue Tag an. Man sah die aus den Kratern sich hebenden Flammen nicht mehr, aber auch den Berg nicht. Eine schwarze, fest scheinende Wolke lagerte sich um ihn herum und verbreitete sich nach und nach wie ein finsterer Flor über den Golf und das Meer. Unaufhörlich fiel in Neapel und in der Gegend ein feiner Aschenregen herab und bedeckte alle Pflanzen und Bäume, alle Häuser und Straßen. Die Sonne erhob sich strahlenlos und ohne Glanz, und kaum war die Helle des Tages dem schwachen Lichte der Morgenröte vergleichbar. Ein unbedeckter Streif am äußersten westlichen Horizont ließ doppelt die Menschen empfinden, wie sie in Finsternis eingehüllt waren. Diese fürchterlich-traurige Erscheinung vermochten die Neapolitaner nicht zu ertragen. Alle überfiel eine ängstlich-düstere Schwermut, und in ununterbrochen fortgesetzten Prozessionen suchten sie den erzürnten Himmel zu besänftigen. Es war nicht mehr das leicht empfängliche Volk, das lärmend mit den Kreuzen die Straßen durchstürzte. Die vornehmsten Familien Neapels schlossen sich dem feierlichen Zuge der Prozessionen an und folgten seufzend und still in langer Reihe dem Kreuze durch die Finsternis nach. Man glaubte alles, was die Asche berührte, mit einem tödlichen Hauch bedeckt; der eingebildete Verlust der reichen Pflanzungen umher setzte die Menge in stumme Verzweiflung, und nur mit Mühe gelang es der Regierung, durch Bekanntmachung der unschädlichen Bestandteile der Asche diese Furcht zu zerstreuen.

„Die Asche fiel um so stärker und häufiger, je näher am Berge. Als sie eine Linie hoch die Straßen von Neapel bedeckte, lagen 5 Linien in Portici, 9 Linien in Resina und 15 Linien in der Nähe der Lava. In Neapel war es schwarzer, feiner Staub, näher dem Vulkane zu ein feiner Sand mit erkennbaren Teilen, und auf dem Vesuv waren Rapilli, kleine Steintrümmer, gefallen.

„Die Lava selbst bewegte sich noch, aber langsam und nur am äußeren Ende bemerkbar. Eine harte erstarrte Rinde bedeckte den fließenden Strom, und die Oberfläche dieser glühenden Masse erkaltete so schnell, daß zwölf Stunden nach Zerstörung der Stadt viele ihrer unglücklichen Bewohner es wagten, schnell gegen ihre zerstörten Wohnungen zu eilen, um der Lava das Wenige zu entreißen, was sie verschont haben konnte. Ja, man war sogar glücklich genug, auf diesem Wege mehrere Personen zu retten, welche, in einem Kloster verschlossen, die jenseit der Lava Geretteten bis dahin vergebens um Hilfe angefleht hatten. An vielen Orten war die Lava geborsten; aus deren Innerem erhob sich ein heftiger, widriger, kochsalzgesäuerter Dampf, und man sah hellleuchtende Flammen zu beiden Seiten der Spalten. Man hörte ein unaufhörliches, entfernt scheinendes Donnern, und schnelle Blitze im schwarzen, vom Berge sich herabwälzenden Regen erhellten die finstere Nacht. Man sah, daß diese gewaltige Masse aus dem großen Krater auf dem Gipfel des Berges hervorgewälzt wurde. Man sah, wie sich eine ungeheure, dichte, rund

gestaltete Wolke aus dem Inneren erhob, wie sie sich aufzublähen schien, je höher sie stieg. Große, zu schwere Felsstücke fielen in fortgesetztem Regen senkrecht von ihren Rändern wieder in den Abgrund hinab. Eine neue Wolke folgte der ersten schnell mit gleicher Erscheinung und so unzählige hintereinander bis zu unabsehbaren Höhen. Ein großer, erhabener Anblick! Oft schien der Berg mit einer Krone dieser zu eigenen Systemen geordneten Wolken bedeckt. Nach und nach lösten sie sich auf, die größeren Stücke fielen senkrecht herab und rollten am Abhange des Kegels herunter; die feinere Asche entführte der Wind und zerstreute sie über das Land. Wenige Stunden darauf hatte die Asche wieder den ganzen Himmel bedeckt, und Tag und Nacht waren, wie vorher, durch keine Grenze geschieden.

„Man hatte am Tage einige schwache Erschütterungen bemerkt. In der Nacht, um 2 Uhr, am 18., erschreckte ein neuer heftiger Stoß die für kleine Phänomene durch das Furchtbare der vorigen Tage nicht mehr empfänglichen Menschen. Man empfand ihn vorzüglich in Portici, Resina und anderen dem Berge nahegelegenen Orten. Und beim Anbruch des weniger durch die Asche verhüllten Tages sah man mit Erstaunen, daß der Gipfel des Vulkans eingestürzt war; statt der vorigen Spitze sah man ihn schief abgestumpft gegen das Meer. Die unaufhörlichen Aschenausbrüche hatten so sehr das Innere des Berges erschöpft, daß er den Gipfel nicht mehr zu unterstützen vermochte. Die ganze Masse fiel im Krater zusammen. Aber diese imposante Erscheinung beendigte den finsteren Aschenregen nicht. Wenn auch in Neapel und Portici und der nahen Gegend umher weniger Asche fiel als an den vorigen Tagen und das matte rötliche Bild der Sonne mehrere Stunden lang sich durch den Staub in der Luft zeigte, so litten dagegen doppelt die Orte ostwärts des Berges. Ein heftiger Ostwind führte die aus dem Krater sich heraufhebende Masse von der Meerseite weg, und mit doppelter Wut stürzte sie auf Somma, Ottajano, Nola, Caserta herab. Bis in das Apenninengebirge herein war tiefe Nacht. Der ganze Vesuv schien sich in Staub herabstürzen zu wollen. Wolkenbrüche vermischten sich in der Luft mit der Asche, und die Masse fiel wie ein zäher Teig über die Gegend. Fest umgab er die zartesten Zweige der Pflanzen und Bäume, und alle Pflanzungen dieses fruchtbaren Striches erlagen unter der unerträglichen Last. Viele Dächer in den Orten stürzten zusammen, und die Einwohner sahen sich genötigt, ihr Leben durch schnelle Flucht in das Gebirge zu retten. Auf diese Art fielen einst Pompeji und Herculanum.

„Und wirklich hatte man Ursache, ein noch grausameres Schicksal zu fürchten. Denn während der Schlamm und die Asche den 18. und 19. fast in einer für die Helle des Tages undurchdringlichen Dichte sich herabsenkten, stürzten reißende Wasserströme vom jähen Abhang des Berges herab. Mit grenzenloser Gewalt rissen sie Berge von Steinen und Bäumen mit sich fort und bedeckten mit großen Felsmassen die Ebene. Nur allein in der Nacht vom 20. Juni wälzten sich fünf solcher Ströme vom Berge, und dreimal im Laufe des Tages erneuerte sich diese verwüstende Erscheinung und das letzte Mal mit doppelter Stärke und Kraft. Die ganze den Vesuv umgebende Landschaft ward durch diese Regen verheert; jede kleine Wolke schien mit Macht gegen die Spitze des Berges gezogen, und kaum hatte sie den Gipfel umgeben, als auch schon die Wasser herunterstürzten, Wälder, Straßen, Brücken zerrissen und Häuser und Felder zerstörten. Von allen Seiten lebten die unglücklichen Menschen in beständiger Todesangst und waren fortdauernd genötigt, sich zur schnellen Flucht zu bereiten. Bosco, Somma, Ottajano, Torre dell' Annunziata verloren auf diese Art zum Teil für unzuberechnende Zeiten die Frucht ihres Fleißes, und die Verwüstungen der Lava in Torre del Greco waren kaum verderblicher und größer als die der entsetzlichen Wassermenge, welche der Vulkan auf das Land hinabstürzte. Indes verminderte sich allmählich die Menge der ausgeworfenen Asche. Man sah jetzt mit ihr sich große Dampfwolken aus dem Krater erheben, die in der Luft sich zerstreuten. Doch wurden die Nächte in Neapel noch

fortwährend von der unzähligen Menge glänzender Blitze erleuchtet, die sich aus der Aschenwolke unaufhörlich herabstürzten. Ein starker, aber nicht rollender Donner begleitete sie, und daher das noch mehrtägige fortgesetzte Getöse vom Berge.

„Am 24. und noch mehr am 26. fiel wieder mehr Asche auf die Seite gegen Neapel, aber als die Einwohner sie erblickten, erhoben sie ein Freudengeschrei; denn sie war nicht mehr dunkelgrau oder schwarz, wie bisher, sondern hellgrau und zuletzt beinahe ganz weiß. Die Erfahrung aller Eruptionen hatte gelehrt, daß dies der letzte Bodensatz im gärenden Inneren des Berges sei, und daß mit ihm die ganze Eruption gewöhnlich endige. Und man betrog sich auch diesmal nicht. Von nun an rauchte der Vesuv fast nur allein. Asche fiel nur noch an einigen Tagen, und seit dem 8. Juli kehrte Heiterkeit in das glückliche Klima Neapels zurück. Schon erhob sich wieder Torre del Greco durch den rastlosen Fleiß der zurückgekehrten Einwohner. Tausende waren auf den Feldern zerstreut, die Blätter und Zweige der Bäume und Reben von der alles bedeckenden Asche zu säubern. In Neapel strömten aufs neue die Menschen den wieder eröffneten Schauspielen zu, und wie vorher versammelten die Späße des Pulcinells die geschäftslose Menge an den Ecken der Straßen."

Der Vesuvkrater im Jahre 1774. (Nach Hamilton.)

In den folgenden Dezennien fanden mehrfache Ausbrüche statt, von denen jedoch keiner von sehr großer Bedeutung war. Erst das Jahr 1822 brachte wieder eine Eruption der heftigsten Art (vgl. Abbildung, S. 140), wenn dieselbe auch keine so verhängnisvollen Folgen mit sich brachte wie jene von 1794. Ferner sind die Jahre 1839, 1850, 1855, 1861 als Ausbruchsjahre zu nennen. Die letzte große Eruption ist diejenige des Jahres 1872 (die Darstellung wesentlich nach Heim und G. vom Rath). Zunächst füllte sich der Krater und riß dann im November 1868 auf der Nordseite, die Lava ergoß sich wieder ins Atrio und folgte dem Verlauf des Stromes von 1855. Damals hatte sich im Inneren des Kraters selbst wieder ein Aschenkegel gebildet, welcher eine Höhe von 100 m erreichte, und in diesem stand nochmals ein kleinerer Kegel, eine Erscheinung, die nach dem Werke von Hamilton über die Phlegräischen Felder auch schon um die Mitte des vorigen Jahrhunderts dagewesen war (s. obenstehende Abbildung). Im Jahre 1871 bildete sich in der Nacht vom 12. auf den 13. Januar hoch oben auf der nördlichen Seite, nur etwa 65 m unter dem Gipfel, ein neuer Durchbruch, riesige Lavafelsen türmten sich um denselben auf, umgaben eine Bocca, in der man die glühende Lava kochen und wallen sah, und ungefähr alle 6—8 Minuten wurden mit Detonationen Schlackenstücke, „Bomben", ausgeworfen. In der geschilderten Weise dauerten die vorbereitenden Explosionen während des Jahres 1871 und des Beginnes von 1872 fort, ohne daß man einen Anhaltspunkt für die Annahme gehabt hätte, daß ein heftiger Ausbruch bevorstehe. Am 24. April wurden den Tag über Steine ausgeworfen, gegen Abend trat Lava aus, am 25. wiederholte sich dasselbe in etwas verstärktem Maße, die Lava quoll nun fortwährend hervor und wälzte sich ins Atrio. Zahlreiche Personen hatten sich in der Nacht vom 25. auf den

Der Vesuv: Rand des Lavastromes von 1872 (Blocklava). (Nach Photographie von Sommer.)

26. dorthin begeben, um das herrliche Schauspiel des hellleuchtenden Glutstromes zu beobachten, da plötzlich, zwischen 3 und 4 Uhr morgens, spaltete sich der ganze Aschenkegel vom Gipfel bis ins Atrio hinab, Lavamassen entstürzten der Kluft, ein dichter Hagel geschmolzener Steine wurde aus dem Gipfelkrater geschleudert; die Zuschauer im Atrio, von dichten Dampfwolken umhüllt, vom glühenden Regen der Bomben überschüttet, vom rasch sich vorwälzenden Lavastrom erreicht, wurden großenteils getötet, einige nur entkamen verwundet nach dem Observatorium.

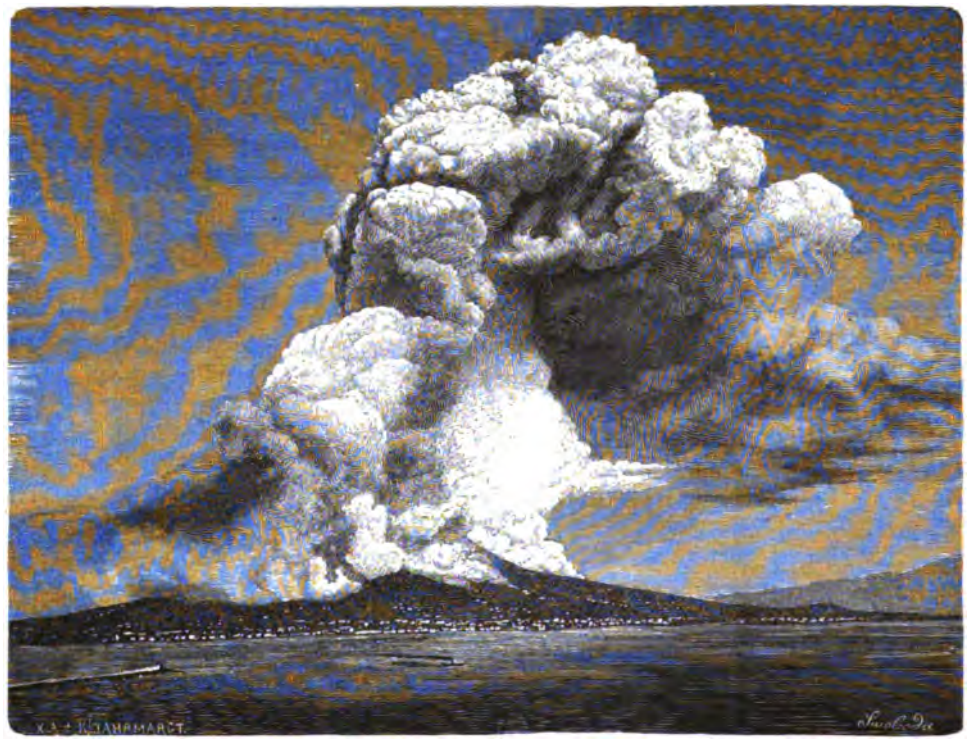
Die austretenden Lavamassen ergossen sich zunächst ins Atrio, dessen Boden bei dieser Gelegenheit um ungefähr 6 m erhöht wurde, dann gelangten sie an den Abhang des Berges, wo ein Arm sich gegen Torre del Greco wandte, jedoch bald erstarrte und in etwa 420 m Höhe stillstand, ohne Kulturland zu erreichen. Ein zweiter Arm wälzte sich durch den nördlich vom Observatorium gelegenen Fosso della Vetrana, so nahe an dem Gebäude vorbei, daß die Fensterstöcke desselben infolge der strahlenden Hitze Feuer fingen. Unterhalb des Fosso della Vetrana teilte sich diese Lava nochmals, eine Partie wandte sich gegen die Orte Massa und San Sebastiano, von denen sie einen Teil zerstörte (s. obenstehende Abbildung), eine andere schlug die Richtung gegen San Giorgio a Cremano ein, ohne jedoch dahin zu gelangen. Merkwürdig war es, als die Lava durch Baumgärten floß, zu sehen, wie jeder Baum, den sie erreichte, hell aufflammte und verbrannte (s. die beigeheftete Tafel).

Stirn des Lavastromes von 1872 in der Ortschaft Massa. (Nach Photographie von Sommer.)

Aus dem Hauptkrater erhob sich eine ungeheure Wolke, anfangs von reinem, weißem Wasserdampf, später färbte sie sich dunkler und dunkler und führte große Mengen von zerstäubtem Material mit sich, in Neapel fiel Asche, und der Kegel des Vesuvs wurde damit stark überschüttet, ein

Umstand, welcher durch die lose Beschaffenheit des Bodens die Ersteigung des Berges jetzt wesentlich erschwert. Die untenstehende Abbildung ist nach einer in Neapel hergestellten Photographie ausgeführt; außer der riesigen Rauchwolke des Gipfels zeigt dieselbe auch sehr deutlich die den Lavaströmen entsteigenden Dampfmassen.

Die Eruption von 1872 ist fast einzig in der Schnelligkeit ihres Hereinbrechens und in der fast ebenso raschen Beruhigung der furchtbar erregten Thätigkeit; schon 24 Stunden nach der Katastrophe im Atrio hörte die Lava auf zu fließen, die Wolke lichtete sich, und der Aschenregen ließ nach. Allein so kurz die Dauer des Paroxysmus war, so erlitt der Berg doch sehr wesentliche

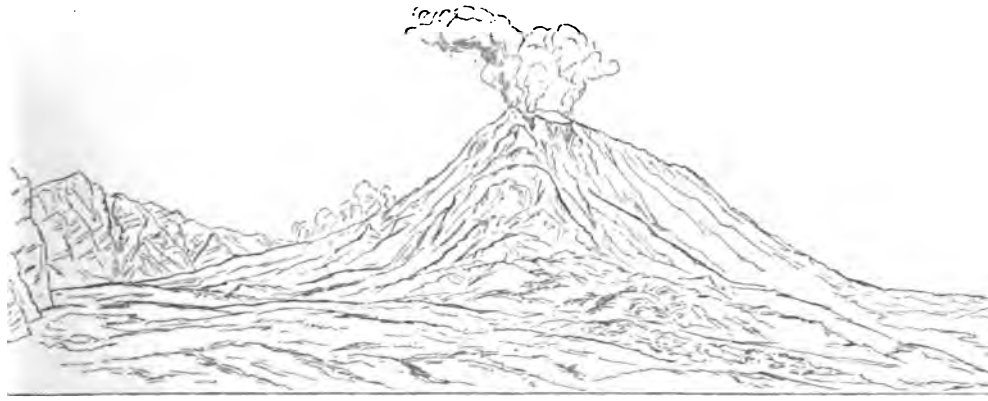


Der Vesuv am 26. April 1872. (Nach Photographie von Sommer.)

Veränderungen, über die wir genaue Rechenschaft geben können, da zufällig ein Schweizer Geolog, Professor Heim aus Zürich, wenige Tage vor der Katastrophe genaue Zeichnungen des Vesuvs angefertigt hatte und nun nach derselben von ebendenselben Standorten aus die neue Gestalt wieder aufnahm. Der Gipfel, der sich von Neapel aus in gleichförmiger Rundung präsentiert hatte, war jetzt schräg abgestutzt (s. Abbildungen, S. 149), die oben geschilderte Bocca auf der Außenseite verschwunden; vom Atrio aus sah man den Spalt, der sich in der Nacht vom 25. auf den 26. April gebildet hatte, als eine Schlucht ins Innere des Berges eindringen; der Kraterrand war in beträchtlicher Ausdehnung eingestürzt, der Krater bedeutend erweitert.

Nach dieser großen Eruption herrschte am Vesuv bis zum 18. Dezember 1875 Ruhe. Von da ab beginnt eine Periode steter, aber gemäßigter sogenannter strombolianischer Thätigkeit, mit schwachen Lavaförderungen, unterbrochen durch einzelne stärkere Ausbrüche. Der große Krater wurde allmählich mit Schlacken, Asche und Lava erfüllt; die beiden Abbildungen des Vesuvkraters im Jahre 1880 und im Jahre 1882 auf S. 150 lassen den bedeutenden Fortschritt der zunehmenden Ausfüllung des Kraters in verhältnismäßig kurzer Zeit erkennen.

Endlich wurde der Krater vollständig eingeebnet, und der Verlust des Jahres 1872 war wieder wett gemacht. Zeitweilig ergoß sich die Lava über die tiefste Stelle des Kraterrandes ins Atrium oder noch weiter hinaus. Eine etwas bedeutendere Eruption erfolgte im Jahre 1885. Der Kraterkegel wurde in nordsüdlicher Richtung in einer durch seine Achse hindurchgehenden Ebene gespalten, die schon im Jahre 1868 geöffnet war. Dieselbe Spalte wurde auf der Nordseite des Kegels auch im August des Jahres 1891 zum Austritt von Lava benutzt. Bei



Aschenkegel des Vesuvs vor dem Ausbruch von 1872. (Nach Heim.) Vgl. Text, S. 148.

Aschenkegel des Vesuvs nach dem Ausbruche von 1872. (Nach Heim.) Vgl. Text, S. 148.

diesem letzten größeren Ausbruch arbeitete der Berg ruhig, ohne bedeutende Erschütterungen oder Detonationen. Der Zentralkegel im Krater stürzte ein, dadurch wurde die Spannung in der Lavamasse vermehrt, und dieser Überschuß genügte, um das an der erwähnten Spalte gelockerte Gefüge des Berges vollends zum Weichen zu bringen und den Austritt der Lava zu ermöglichen. Zuerst bildete sich eine Öffnung am Kraterrande, bald darauf weiter unten eine zweite und mehrere andere, aus welchen Lava gegen den Fosso della Vetrana abfloß. Die Thätigkeit des Zentralkraters beschränkte sich auf den Auswurf feiner Lapilli.

Solche Perioden gemäßigter und steter Thätigkeit hat der Vulkan in den letzten Jahrhunderten wiederholt durchgemacht. Hierbei steigt immer Dampf auf, wenn auch oft in geringer Menge, und fast immer sind im Krater einzelne Bocche vorhanden, die wenigstens von Zeit zu Zeit Lavafetzen oder Steine auswerfen. Aus den Dämpfen scheiden sich Minerale, Eisenglanz, Chlorkupfer und verschiedene andere aus und bekleiden die Felsen mit bunten Anflügen oder

Das Innere des Vesuvkraters im Jahre 1880. (Nach Photographie von Sommer.) Vgl. Text, S. 148.

Das Innere des Vesuvkraters im Jahre 1882. Vgl. Text, S. 148.

mit zierlichen Kristallen. Dann wieder steigert sich die Aktion etwas, neue Schlünde öffnen sich, der Dampf nimmt zu, Steine und Aschen werden geschleudert, und es erscheint wohl auch ein kleiner Lavastrom. Gerade in dieser Zeit baut sich der Krater durch die allmählich aufgeschütteten Materialien in die Höhe. In einer solchen Periode hat Scacchi von 1840—50 sehr zahlreiche Beobachtungen über den Vesuv angestellt, von welchen wir für einen kurzen Zeitraum den Wortlaut seiner Mitteilungen wiedergeben, da sie uns besser als irgend etwas anderes ein Bild des Berges in diesem Stadium geben:

14. Januar 1843. Ein kleiner auswerfender Kegel im Inneren des Kraters.
15. März. Drei Lavaströme aus der Basis des kleinen Kegels; Eisenglanz an den Fumarolen.
22. März. Zwei neue auswerfende Bocche an der Seite des inneren Kegels.
30. Juni. Zwei Lavaströme an der Basis des inneren Kegels.
15. Juli. Der innere Kegel wirft durch drei Bocche aus; Lava aus seiner Basis.
4. September. Große Längsspalte im inneren Kegel; heftiger Steinauswurf; Chlorkupfer in den Fumarolen.
9. September. Neuer innerer Kegel auf den Trümmern des früheren; Lava aus seiner Basis.
13. Oktober. Der innere Kegel wirft durch drei Öffnungen (zwei an der Spitze, eine an der Ostseite) aus; Lava tritt aus der Basis hervor.
31. Oktober. Zwei Öffnungen im Inneren des Kegels, von denen nur eine auswirft; Lava aus seiner Basis; schwefelsaures Kupfer an den Fumarolen.
18. November. Sechs Lavaströme aus der Basis des inneren Kegels; eine Menge Eisenglanz und Chlorkupfer an den Fumarolen.
30. November. Der innere Kegel wirft durch vier Bocche aus; aus der Basis Lava, die flüssiger ist als gewöhnlich.
14. Dezember. Lavaerguß im Inneren des Kraters unter Punta del Palo (höchster Punkt des Gipfels).
19. Januar 1844. Sieben Lavaströme aus verschiedenen Stellen des Kratergrundes; Zerstörung eines großen Teils des inneren Kegels.
31. Januar. Fünf Lavaströme nahe der Basis des inneren Kegels; beim Entstehen des einen erfolgt Steinauswurf, ebenso aus dem inneren Kegel.
27. Februar. Lava bricht 50 m vom inneren Kegel aus; sehr viel Eisenglanz.
2. März. Neue Eruptionsbocca an der Südostseite des Kraters, aus welcher viele Lavabäche hervorkommen, der innere Kegel wirft durch drei Mündungen aus; lose Augitkristalle werden ausgeworfen.
5. April. Große Spalte im inneren Kegel, Lavaausfluß an fünf Stellen; sehr viel Kupferoxyd.
13. April. Rauchringe.[1]
22. April. Der innere Kegel wirft durch zwei Bocche aus; vier Bocche am Kraterboden, an der Basis des Kegels; große Spalte im Inneren des Kraters an der Südostseite, sehr viel Eisenglanz und Gips.
6. Juli. Drei Lavaströme aus der Basis des inneren Kegels; Rauchringe.
22. Juli. Rauchringe während des ganzen Tages; starkes Gebrüll; vier Lavaströme im Kraterboden; viele Spalten im inneren Kegel; Mangel an Wasser in den Brunnen von Resina.
4. August. Große Stalaktiten von Kochsalz und Chlorkalium gemischt mit Eisenchlorid.
24. August. Der Gipfel des inneren Kegels ist höher als die Ränder des Kraters; zwei Lavaströme aus dem Kraterboden; lose Augitkristalle ausgeworfen.
4. September. Große Eruption von Lavafetzen aus dem Gipfel des inneren Kegels.
8. September. Einsturz des Gipfels des inneren Kegels; drei Lavaströme am Kraterboden.
30. Oktober. Zwei neue kleine Auswurfskegel; verschiedene Lavaströme im Kraterboden.
4. November. Die Kegel vom 30. Oktober sind zerstört; zwei neue kleine Kegel. Großer Lavastrom aus der Basis des großen Kegels.

Wir haben hier durch einen Zeitraum von fast zwei Jahren die nie rastende Thätigkeit des Berges verfolgt, aber die ganze Zeit über war die Aktion auf das Innere des Kraters beschränkt.

[1] Eine sehr merkwürdige Erscheinung; der Krater stößt bisweilen ringförmige Dampfwolken in die Luft, die, je höher sie steigen, einen um so riesenhafteren Durchmesser annehmen. Es ist derselbe Vorgang, wie er zu beobachten ist, wenn ein Raucher Ringe von Tabaksrauch aus dem Munde stößt.

Nur am letzten der verzeichneten Tage, am 4. November 1844, brach ein starker Lavastrom auf der Außenseite hervor.

Zu vielen Diskussionen hat die Frage Anlaß gegeben, ob bei den Ausbrüchen Flammen auftreten; in vielen älteren Berichten spielt ihr Vorkommen eine große Rolle, sie sollen namentlich des Nachts ausgezeichnet sichtbar sein. Man hat sich jedoch überzeugt, daß das, was man gewöhnlich als Flammen betrachtet hat, nichts weiter ist, als der Widerschein der im Krater fließenden Lava, welche die Dampfwolke erleuchtet und so den Anschein hervorruft, als ob Feuer aus dem Berge emporschlüge. Wenn aber so großartige Flammenerscheinungen nicht auftreten, so darf doch deswegen das Vorhandensein solcher nicht ganz geleugnet werden; es ist jetzt eine Anzahl wohlverbürgter Fälle bekannt, daß teils aus dem Krater, teils aus Lavaströmen und Fumarolen brennende Gase aufsteigen, die sich entzünden und Flammen erzeugen können; ja, nach Siemens spielt die Entzündung brennbarer Gase, speziell von Wasserstoff, eine Hauptrolle bei den Explosionen.

Vulkanische Auswurfsprodukte.

Unter den Produkten der Eruption sind entschieden die Lavaströme die auffallendsten und interessantesten, weshalb wir ihnen vor allem unsere Aufmerksamkeit zuwenden müssen. Der Zustand der fließenden Laven ist ein sehr verschiedener, aber immer zeigen sie eine zähe Beschaffenheit; die dünnflüssigsten Ströme werden in ihrer Konsistenz dem Honig verglichen, aber die meisten unter ihnen besitzen weit strengeren Zusammenhang ihrer Teile, so daß es in der Regel bedeutender Kraftanstrengung bedarf, um einen Stock in ihre Masse hineinzustoßen, ja daß sich ein auf diese Weise erzeugtes kleines Loch stundenlang erhält, ehe es sich wieder schließt. Manche Ströme werden mit halbflüssigem Mörtel verglichen, und in einzelnen Fällen, wie sie namentlich von Humboldt und Boussingault aus Südamerika erwähnt werden, scheinen sie nicht ihrer ganzen Masse nach geschmolzen gewesen zu sein, sondern ein mit flüssigem Magma gemischtes Haufwerk von Blöcken gebildet zu haben.

Die Schnelligkeit, mit der sich die Lavaströme bewegen, ist natürlich infolge dieser Unterschiede in der Konsistenz und auch nach dem Gefälle des Bodens, über den sie sich fortwälzen, den größten Schwankungen unterworfen. Verhältnismäßig dünnflüssige Laven auf steiler Unterlage bewegen sich sehr rasch vorwärts; ein Strom, den der Vesuv am 12. August 1805 ausstieß, „fuhr wie ein Hauch am steilen Abhang des Kegels herab" und legte in den ersten vier Minuten eine Strecke von $5^1/_2$ km zurück; von einem anderen Strome desselben Vulkans aus dem Jahre 1631 wird berichtet, daß er das 8 km entfernte Meer in einer Stunde erreicht habe. Die dünnflüssigsten Laven aber werden von den freien, offenen Basaltvulkanen der Insel Hawai gefördert. Ihr Gefüge ist ein so lockeres, daß sie an Gefällsbrüchen förmliche Kaskaden bilden (s. Abbildung, S. 263) und selbst noch bei der geringen Neigung der Unterlage von 1° Fortbewegung zeigen. Man hat wiederholt beobachtet, daß diese Lavaströme 10—20, ja sogar 30 km in der Stunde zurücklegen. Solche Vorkommnisse gehören übrigens zu den seltensten Ausnahmen, und selbst die Lava, welche Scrope im Jahre 1822 in 15 Minuten vom Kraterrand des Vesuvs bis zum Fuße des Kegels herabkommen sah, kann noch als abnorm schnell in ihrer Bewegung gelten. Am Ätna bezeichnet man eine Lava als schnell, die zur Zurücklegung von 1 km 2—3 Stunden braucht; gewöhnlich ist die Fortbewegung weit langsamer, und nach einiger Zeit wird sie so träge, daß sie oft in einer Stunde nicht einmal 1 m beträgt.

Wenn die Lava geschmolzen den Krater verläßt, glänzt sie meist in heller Weißglut. Sie behält diesen Zustand in ihrem Inneren lange Zeit hindurch bei, wie man an Stellen deutlich

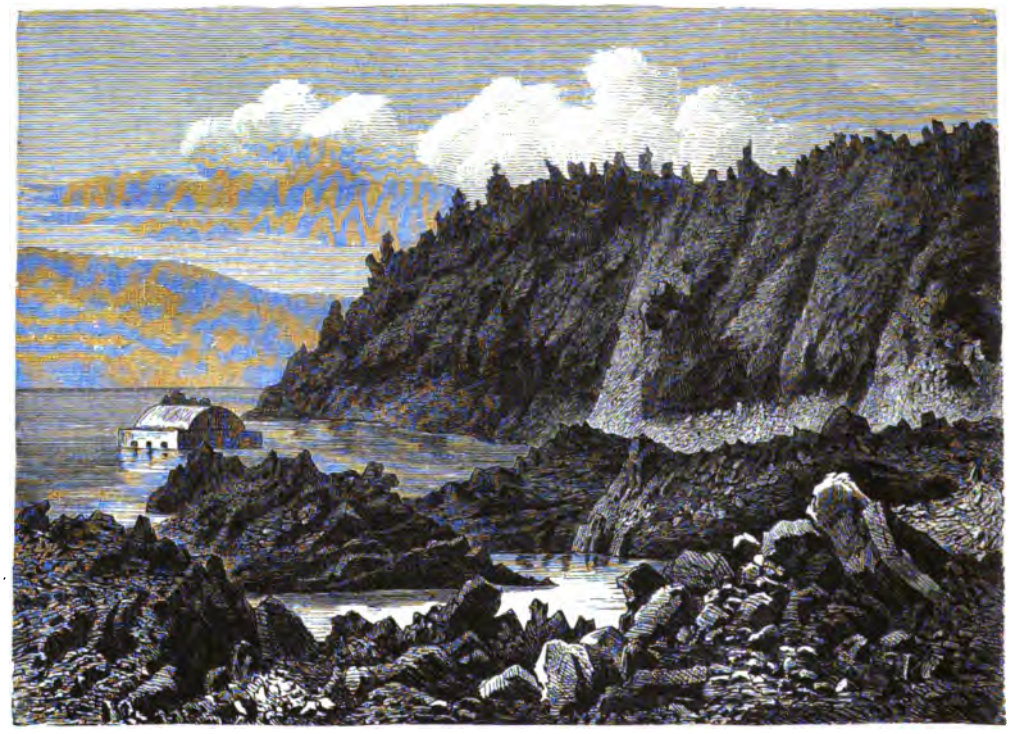
bemerken kann, wo Riſſe in die Tiefe des Stromes zu blicken geſtatten. Äußerlich aber tritt raſch Abkühlung ein, und der Strom überzieht ſich ſehr bald mit einer feſten Decke dunkler, ſtarrer, ſchlackiger Maſſe, die in kürzeſter Zeit tragfähig genug iſt, um begangen zu werden, ſo daß man bisweilen auf dem Rücken des noch fließenden Stromes aufwärts nach dem Schlunde gelangen kann, dem er entſtrömt. Die erhärtete Kruſte bildet geradezu einen aus Schlacken beſtehenden Schlauch, durch welchen ſich die flüſſige Maſſe weiterbewegt. Auch die Stirn bedeckt ſich in derſelben Weiſe mit einer ſchwarzen, erſtarrten Rinde, und indem der Strom vorrückt, drückt er dieſe Kruſte zu Boden und läuft darüber hin, indem ſich gleichzeitig neue Schlacken am Vorder-

Blocklava bei Hilea, Hawai. Im Hintergrund der Vulkan Loa. (Nach C. E. Dutton.) Vgl. Text, S. 154.

rande bilden. So kommt es, daß, abgeſehen von den Fällen ſehr ſchnellen Vorrückens, der Strom ſich immer auf einer Unterlage von ſchon erſtarrter Lava hinbewegt, die durch das fortwährende Abwerfen und Hinunterſchieben der erſtarrten Stirnmaſſen entſteht. Ein ſolcher Strom bietet ein ſeltſames Ausſehen; Poulett Scrope vergleicht ſeine Vorderſeite mit einem ungeheuern Haufen großer Kohlenſtücke, welche durch die Wirkung eines langſamen Nachdrängens von hinten übereinander fortrollen. Die Bewegung iſt von einem krachenden metalliſchen Geräuſch begleitet, das durch die Zuſammenziehung, das Zerſpringen und die ſtarke Reibung der einzelnen Teile gegeneinander erzeugt wird.

Die erſtarrte Decke der Ströme iſt übrigens ſehr weit davon entfernt, eine ziemlich ebene und gleichmäßige Oberfläche darzubieten; im Gegenteil, es entſtehen in derſelben zahlreiche Riſſe, noch flüſſige Lava ſchiebt ſich oft durch dieſelben heraus, die einzelnen Blöcke und Schollen, in welche ſich die urſprüngliche Decke zerklüftet, werden wild übereinander geſchoben, ähnlich wie die Eisblöcke, wenn ſich in unſeren Flüſſen bei beginnendem Tauwetter ein Eisſtoß ſtellt. Man kann

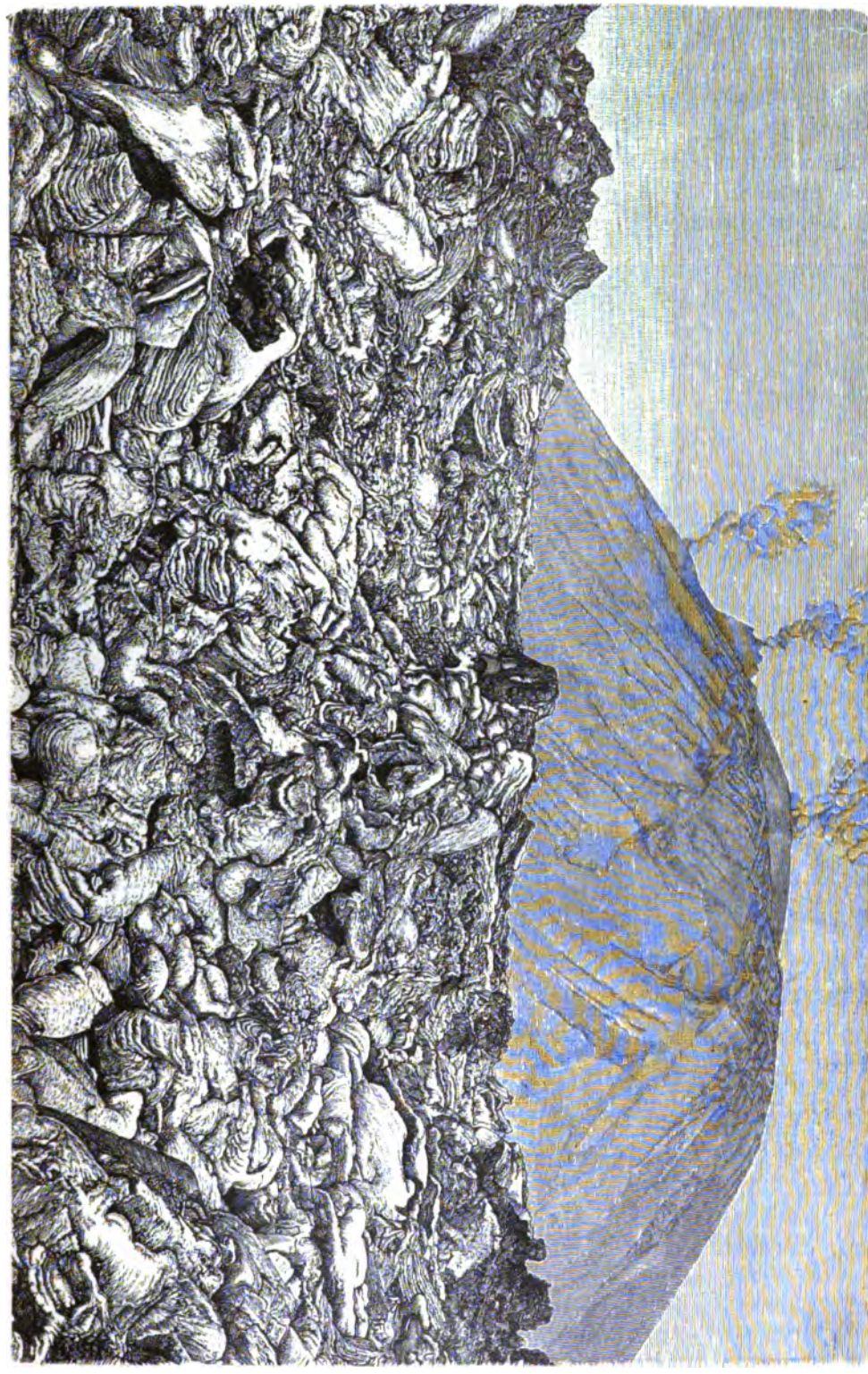
sich keinen wilderen und trostloseren Anblick der entsetzlichsten Zerstörung denken, als ihn der Rücken eines solchen Stromes von Blocklava darstellt (s. Abbildung, S. 153). Noch bizarrer vielleicht in ihren Formen sind die sogenannten Gekröse- oder Fladenlaven, welche zwar weit seltener auftreten als jene, aber gerade den Besuchern des Vesuvs sehr wohl bekannt sind, weil die Fahrstraße von Resina nach dem Observatorium auf eine längere Strecke durch solche Gebilde führt, die vom Ausbruch des Jahres 1855 herrühren. Bei solchen Strömen zerfällt die Decke nicht in Schollen, sondern bildet eine zusammenhängende Masse, deren Oberfläche zu Fladen ge-



Ende eines Stromes von Blocklava aus dem Giorgios-Krater auf Santorin in Griechenland. (Nach Fouqué.)

bauscht ist und die seltsamsten gekröseartigen Windungen und Auftreibungen aufweist (s. Abbildungen, S. 155 und S. 156).

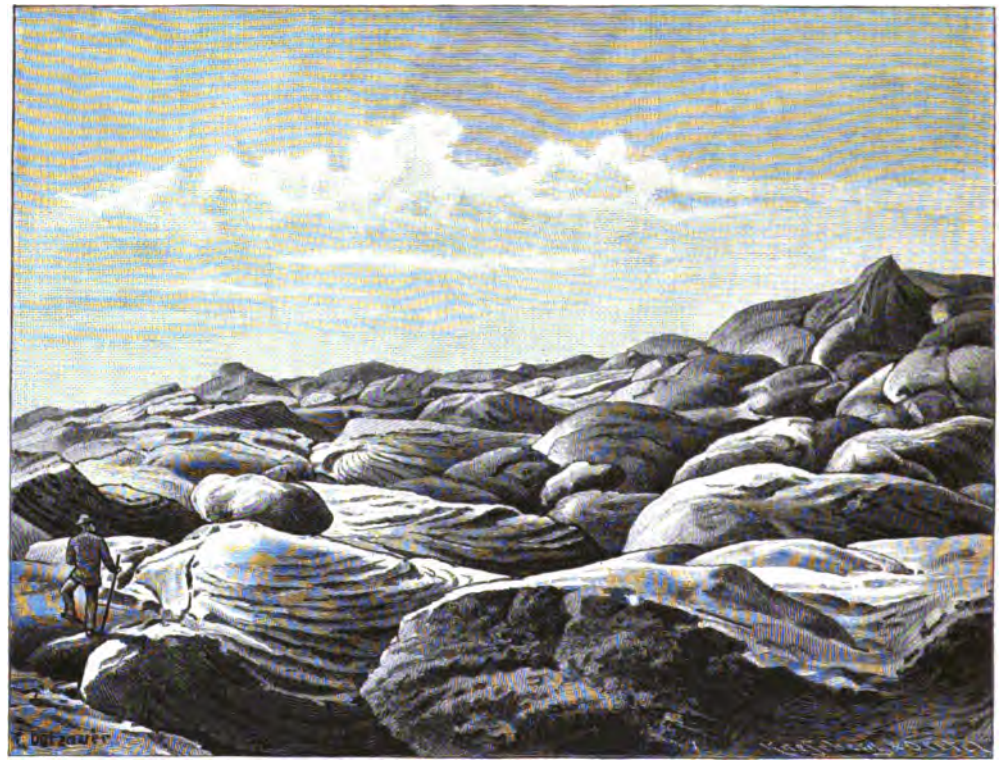
Geschmolzene Massen haben in hohem Grade die Fähigkeit, Gase und Dämpfe zu absorbieren, die dann beim Erkalten und Festwerden wieder entweichen. Versuche mit Silber, welches unter einer Decke von Salpeter geschmolzen und bei der Abkühlung unter die Luftpumpe gebracht worden war, ergaben eine äußerst heftige Sauerstoff-Entwickelung, die so reichlich war, daß die ausgeschiedene Menge des Gases das Volumen des Silbers, in welchem sie absorbiert gewesen war, 22mal übertraf; 1 Liter geschmolzenes Silber kann also 22 Liter Sauerstoff in sich aufnehmen. An dieser Eigenschaft haben auch die Laven Anteil, sie sind in verschieden hohem Grade mit Gasen, namentlich aber mit Wasserdampf geschwängert. Wenn die Erstarrung der Laven rasch und unter massenhafter Dampfentwickelung vor sich geht, so bildet sich Blocklava; Fladenlava dagegen entsteht bei langsamer Erkaltung unter geringer Dampfbildung. Die Verschiedenheit der Dampfführung kann eine ursprüngliche sein, sie kann aber auch erst im Abfließen sekundär erworben werden. Wenn z. B. auf Hawai innerhalb der Ströme von Fladenlava oder Pahoehoe, nach dem dortigen Lokalausdruck, einzelne begrenzte Partien die Beschaffenheit von



Getröſelava bei Neſuva. (Nach Photographie.) Vgl. Text, S. 154.

Blocklava oder Aa annehmen, so ist dies nach J. Dana auf eine zufällige Bereicherung mit Wasserdampf an Stellen, wo der Untergrund besonders feucht war, zurückzuführen.

Anfangs steigen Gase und Dämpfe aus dem Strome seiner ganzen Ausdehnung nach auf, später entweichen sie als sogenannte Fumarolen nur noch aus einzelnen Spalten und Öffnungen der Oberfläche. Dabei werden von den stürmisch hervorbrechenden Dämpfen Fetzen noch flüssiger Lava mit heraufgerissen; sie fliegen in die Luft und fallen dann wieder zur Ausbruchsstelle der Fumarole herab, um welche sie sich oft zu hohen Schornsteinen aufbauen (s. Abbildung, S. 89), in derselben Weise, wie das mit geschmolzener Bleiglätte der Fall ist, wenn sie auf eine



Gekröselava vom Kilauea, Hawai. (Nach J. Dana.) Vgl. Text, S. 154.

nasse und kalte Unterlage ausgegossen wird (s. Abbildung, S. 157). Außer dem Wasserdampf treten aber noch mannigfache andere Gase auf, Dämpfe von Salzsäure, Salmiak, Eisenchlorid, schwefliger Säure, Kohlensäure ꝛc. In noch weit höherem Maße finden solche Ausströmungen aus dem Krater statt.

Von besonderem Interesse sind dabei jene Absätze und Mineralbildungen, welche durch Verdichtung der Dämpfe oder einzelner ihrer Bestandteile entstehen, die sogenannten „Sublimationsprodukte". Am häufigsten und verbreitetsten sind von diesen: Kochsalz, Salmiak und Eisenchlorid, und namentlich das letztere muß jedem Besucher auffallen durch die grelle, brennend gelbe Färbung (weshalb es von den Touristen irrig meist für Schwefel gehalten wird), mit der es einen Teil des Gipfels und namentlich der Kraterwände überzieht. Das Eisenchlorid zersetzt sich oft mit Wasserdampf zu Salzsäure und Eisenoxyd, und dieses setzt sich dann in Form zierlicher Eisenglanzkriställchen fest. Auch andere Chloride schwerer Metalle treten als Sublimationsprodukte auf, namentlich Blei- und Kupferchlorid, deren Bildung auf diesem Wege als Fingerzeig für die

Erklärung mancher Erzgänge in älteren Massengesteinen benutzt worden ist. Von ganz besonderer Bedeutung ist aber die zuerst von Scacchi entdeckte und dann von G. vom Rath bestätigte Thatsache, daß auf demselben Wege, durch Verdichtung von Bestandteilen der Dämpfe, sich auch kieselsaure Verbindungen, Silikate, bilden und unter diesen manche der in Massengesteinen häufigsten und für ihre Zusammensetzung wichtigsten Mineralien, wie Kalifeldspat (Sanidin), Augit, Glimmer (Biotit) und andere.

Wie lange die Lavaströme zu ihrer Erkaltung brauchen, können wir noch nicht sagen; selbstverständlich herrschen je nach der Masse, der Mächtigkeit, der Struktur und dem Grade der ursprünglichen Hitze die größten Verschiedenheiten. In einzelnen Fällen scheint die Sache sehr rasch vor sich zu gehen; es wird z. B. von einem Strome des Vesuvs aus dem Jahre 1832 berichtet, der nach zwei Monaten ganz erkaltet war. Dagegen weiß man von anderen Strömen, die zwei Jahre hindurch im Vorrücken waren. Oft erhält sich jahrelang ganz nahe an der Oberfläche eines Stromes die Temperatur so hoch, daß ein in eine Spalte gestecktes Stück Holz sofort

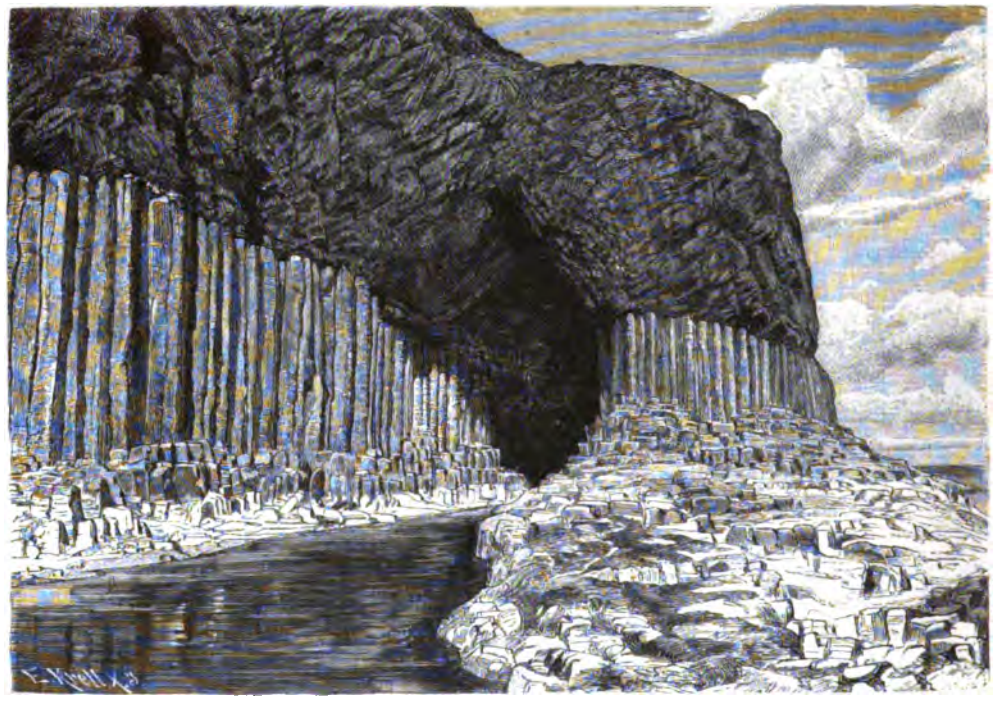
Spratzkegel von Bleiglätte aus dem Hüttenwerk von Přibram in Böhmen. Vgl. Text, S. 156.

zu brennen anfängt; dies war z. B. am Vesuv im Jahre 1876 mit einer vier Jahre alten Lava der Fall, aber nicht mehr im Jahre 1878.

Manche Ströme bleiben viele Jahre hindurch in Fumarolenthätigkeit. Am Jorullo in Mexiko beobachtete Humboldt, daß Quellen, welche ihren Weg durch die 46 Jahre früher ausgeflossene Lava nahmen, noch eine Temperatur von 54° hatten, und für die Ergüsse der gewaltigsten Art werden wir noch viel längere Zeiträume bis zur vollständigen Erstarrung voraussetzen müssen; der Skaptarjökull auf Island hat im Jahre 1783 in zwei Strömen eine Lavamasse ergossen von einem Volumen, welches größer ist als dasjenige des Montblanc, und es ist im höchsten Grade unwahrscheinlich, daß diese Riesenmasse in den 110 Jahren seit ihrem Austritt schon durch und durch erkaltet sei.

Wir haben gesehen, daß die Ströme an ihrer Oberfläche sehr rasch erkalten, daß sich eine feste Kruste bildet, in welcher sich die noch flüssige Masse wie in einem Schlauche weiterschiebt. Wenn nun die Lava spärlicher zu rinnen anfängt, so kommt es oft vor, daß sie den Hohlraum nicht mehr ausfüllt; dann senkt sich in der Regel die nicht genügend unterstützte Decke allmählich herab, und zwar natürlich in der Mitte stärker als an den Seiten, so daß dann die Ränder solcher Ströme den zentralen Teil überragen und der Querschnitt eine konkave Oberfläche zeigt, während sonst die Lava-Ergüsse, wie jede zäh fließende Masse, konvex gewölbt sind. Ist jedoch die feste Decke schon mächtig und konsistent genug, um ihr eignes Gewicht zu tragen und nicht nachzusinken, so entstehen Hohlräume unter derselben, und ohne Zweifel sind z. B. die merkwürdigen Lavagrotten Islands auf diesen Vorgang zurückzuführen. Die bekannteste unter ihnen, die

Surtshellir („schwarze Höhle") bei Kalmanstunga, die in einem ungeheuern Lavafelde eingebettet ist, hat eine Länge von etwa 1600 m bei einer Breite von 16—18 m und einer Höhe von 11—12 m und enthält außer dem Hauptgang eine Anzahl von Nebenkammern. Die Wände sind von glasigen, glänzenden Erstarrungsprodukten bekleidet, von der Decke hängen prachtvolle Stalaktiten von Lava herab, und die Seiten sind mit Längsstreifen, den Anzeichen des Durchströmens noch flüssiger Massen, wie kanneliert. Auf Hawai haben zahlreiche Lavaströme tunnelartige Hohlräume, welche streckenweise sehr eng sind, aber sich auch zu 20 m breiten und ebenso hohen, mit Stalaktiten ausgekleideten Domen erweitern können. Sie ziehen sich oft mehrere Kilometer lang in den Lavaströmen hin und machen alle Krümmungen derselben mit. Auch von den Vulkaninseln Bourbon und Amsterdam sind solche Lavatunnels beschrieben worden.



Die Fingalshöhle auf Staffa. (Nach Photographie.) Vgl. Text, S. 159.

Rasch erstarrte Lava zeigt keine oder wenigstens keine klar ausgesprochene Absonderung nach bestimmten Richtungen, dagegen finden wir solche sehr häufig und in der deutlichsten Weise entwickelt sowie in auffallendster Form in den tieferen und daher langsamer erkalteten Teilen von Strömen oder in Gängen, welche sehr allmählich fest geworden sind. An den jüngsten Produkten heute noch thätiger Vulkane können wir allerdings aus sehr naheliegenden Gründen nicht erwarten, diese Partien aufgeschlossen zu finden; um sie kennen zu lernen, müssen wir uns älteren vulkanischen Herden zuwenden, Punkten, an denen die Denudation, die Abtragung durch Verwitterung ꝛc., weit genug vorgeschritten ist, um uns einen Einblick in das Innere selbst der mächtigsten Ströme zu gewähren. Die merkwürdigste und bezeichnendste Erscheinung, die hier auftritt, ist die *säulenförmige Absonderung*, welche sehr allgemein bei Basalten, seltener bei porphyrischen, trachytischen und diabasischen Gesteinen vorhanden ist. *Iddings* hat die Säulenbildung ausnahmsweise auch bei Obsidian beobachtet, und zwar bei dem Vorkommen des nordamerikanischen Nationalparks am Yellowstone River. Die Größe und die Verhältnisse solcher Säulen sind

überaus großen Schwankungen unterworfen, man kennt Vorkommnisse, welche 100—150 Fuß lang sind und dabei nur 8 oder 9 Zoll Durchmesser haben; ja, am Baulaberge auf Island kommen Säulen von Fingerstärke vor, während andere bis zu 9 Fuß dick sind.

Die Ursache dieser merkwürdigen Bildung kann gewiß nur in der Zusammenziehung bei der Erkaltung der Lava gesucht werden. Die Masse ist häufig zu lauter dicht aneinander gedrängten polygonalen, und zwar am häufigsten zu sechsseitigen Säulen zerklüftet, welche in der Tiefe des Stromes senkrecht zur Oberfläche stehen, während der höher gelegene Teil keine Spur der Erscheinung erkennen läßt oder nur eine rohe und unvollkommene Absonderung zu Prismen in unregelmäßiger Lagerung zeigt, welche gewöhnlich senkrecht zu einzelnen Hauptklüften gerichtet ist.

Säulenbasalte vom Rio Colorado (Nordamerika). Vgl. Text, S. 159 u. 160.

Mitunter ist die obere Partie solcher Ströme sogar bankig oder dünnplattig abgesondert. Die Grenze zwischen diesen beiden so verschieden ausgebildeten Partien ist in der Regel sehr deutlich, so daß man auf den ersten Blick zwei verschiedene Ströme vor sich zu sehen glaubt, von denen der eine seinen Lauf über den anderen hinweg genommen hat. Aber bei genauerer Untersuchung erkennt man doch, daß der Zusammenhang ein inniger und untrennbarer ist, so daß man mit Sicherheit sagen kann, die beiden Lagen gehören einem Strome an und stellen nur die verschieden ausgebildeten Teile desselben dar. Dieses Verhältnis zeigt uns die Abbildung (S. 158) der Fingalshöhle auf Staffa an der schottischen Küste. Die ganze Basaltpartie stellt einen Teil eines zerstörten Stromes dar, in welchem die unteren Partien ausgezeichnet säulenförmig abgesondert sind, während der obere Teil durchaus massiv ist. Ein schönes Beispiel für das Auftreten einer säulenförmig abgesonderten Basaltdecke zeigt die obenstehende Abbildung, welche eine Landschaft vom Rio Colorado in Nordamerika darstellt. Ein nicht sehr dicker Strom von eruptivem Material hatte sich über die Gegend ausgebreitet, ehe noch ein Thal an dieser Stelle vorhanden war; neue

Ablagerungen deckten sich darüber, und als nun in späterer Zeit ein Fluß hier sein Bett eingrub, legte er hoch oben an den Gehängen einen Schnitt durch die Basaltdecke bloß.

Auch in Lavagängen tritt die Säulenbildung häufig auf, doch ist dann ihre Anordnung eine verschiedene. Auch hier stellen sich die einzelnen Prismen senkrecht zur abkühlenden Fläche, allein diese ist in diesem Falle nicht, wie bei den Strömen, eine horizontale, sondern sie wird von den senkrechten oder geneigten Wänden des Ganges aus gebildet; infolgedessen gehen die Säulen von einer Mittellinie im Zentrum nach beiden Seiten aus und stehen oft schräg, so daß sie wie die Fahne einer Feder angeordnet sind. Diese Stellung der Säulen gestattet auch in sehr vielen

Fiederstellige Basaltsäulen des Humboldt-Felsens bei Aussig an der Elbe in Böhmen.

Fällen die nach anderen Kriterien oft sehr schwierige Entscheidung, ob man es in einer durch Denudation isolierten Partie eines vulkanischen Gesteins mit den Überresten eines Ganges oder einer Decke (eines Stromes) zu thun hat. Wenn wir z. B. die senkrechten Säulen der Landschaft am Rio Colorado betrachten (s. Abbildung S. 159), so finden wir in denselben die charakteristische Lagerung eines Stromes, während der aus fiederstelligen Säulen aufgebaute Humboldt-Felsen im Elbthal bei Aussig in Böhmen (s. obenstehende Abbildung) als ausgezeichnetes Beispiel der Gangstruktur gelten kann.

Eine andere eigentümliche Erstarrungsform ist die sphäroidische, bei welcher sich das ganze Gestein in Kugeln absondert, welche selbst wieder aus lauter konzentrisch umeinander gelagerten Schalen bestehen (s. Abbildung, S. 161). Bisweilen sieht man diese sphäroidische Anordnung aus der säulenförmigen sich entwickeln oder in dieselbe übergehen; bisweilen auch kann man plattenförmige Absonderung beobachten (s. Abbildung, S. 162).

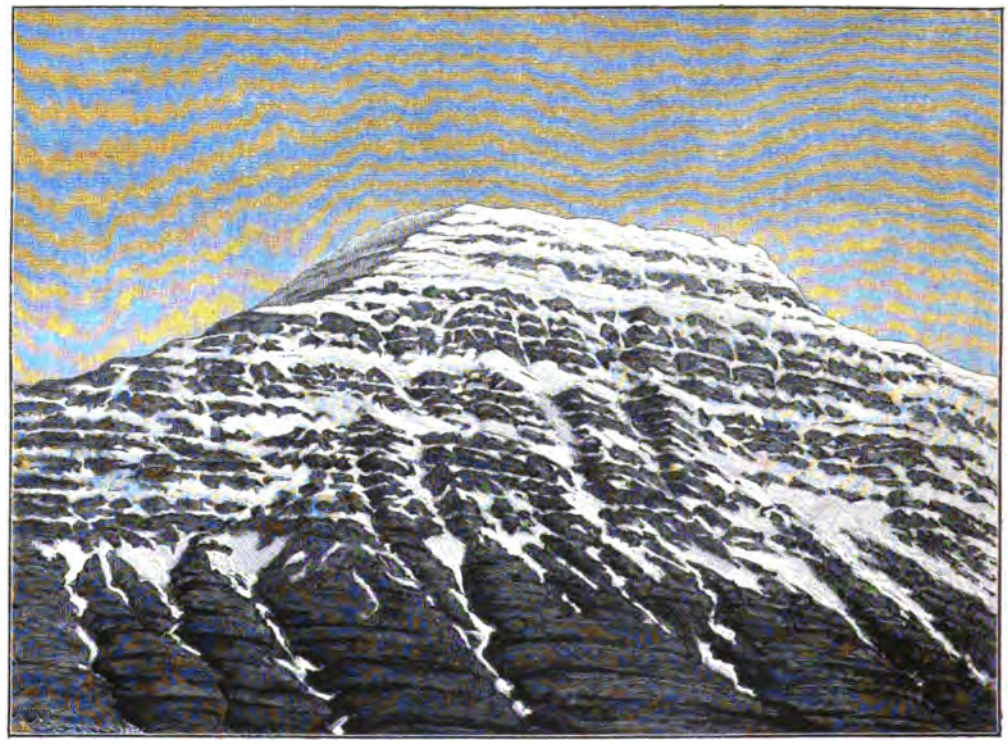
Auch in der feineren Struktur sind die erstarrten vulkanischen Produkte sehr verschieden. Manche Ströme sind ganz und gar glasig, und zwar sind es in den meisten Gegenden trachytische Laven, welche diese Eigentümlichkeit haben. Diese bilden glasige, stark glänzende Massen mit muscheligem Bruch, der schneidend scharfe, an den Kanten durchscheinende Bruchstücke ergibt; die Farbe ist am häufigsten tief schwarz, seltener dunkelbraun, gräulich oder grünlich. Es sind das die Obsidiane, welche allerdings nicht reines Glas sind, sondern meist unter dem Mikroskop ungeheure Mengen winzigster Kriställchen in der Grundmasse zeigen. In Europa sind namentlich auf den Liparischen Inseln, nördlich von Sizilien, Obsidianströme vorhanden, ferner in sehr

Kugelschaliger Basalt von Lukavecz im Temeser Komitat. (Nach Photographie von L. v. Lóczy.) Vgl. Text, S. 160.

reichem Maße auf Island; außerdem sind Armenien, die Kanaren, einzelne der westindischen Inseln, Mexiko, der Nationalpark am Yellowstone River und Java als Gegenden zu nennen, in welchen kieselsäurereiche Laven glasig erstarrt sind. Im ganzen aber zählen doch solche Ströme zu den Ausnahmen, und noch weit seltener nehmen kieselsäurearme, basaltische Laven die glasige Erstarrungsform an.

An basaltischen Gängen bestehen bisweilen die schmalen, an das Nebengestein sich anschließenden Randzonen, die sogenannten Salbänder, aus basaltischem Glas, dem man den Namen Tachylyt gegeben hat, und an einem basaltischen Lavastrom an der Gueule de l'Enfer an der Ardèche in Zentralfrankreich ist beobachtet worden, daß der unterste, älterem Gestein (Gneis) unmittelbar aufgelagerte Teil dieselbe Beschaffenheit zeigt. In größerem Umfange fanden sich glasige Modifikationen der basaltischen Lava auf Hawai, und auch den großen Ergüssen des nordamerikanischen Westens sind diese Bildungen nicht ganz fremd. Über die Ursachen der glasigen

Erstarrung können wir bis jetzt keine genügende Rechenschaft geben. Jedenfalls erscheint die oft geäußerte Auffassung, daß die Schnelligkeit der Erstarrung das wesentlich Entscheidende sei, dem Vorkommen sehr mächtiger, ja selbst säulenförmig abgesonderter, ganz aus Obsidian bestehender Ströme gegenüber nicht haltbar. Vielleicht ist es vielmehr die Zähflüssigkeit der sauren Laven, welche die freie Wanderung der Moleküle erschwert und daher leichter zur glasigen Erstarrung führt, als dies bei den basischen Laven der Fall ist, deren freie Beweglichkeit ein gänzliches Auskristallisieren begünstigt. Die Ursache der größeren Dünnflüssigkeit basischer Magmen erblickt J. Dana in der leichteren Schmelzbarkeit ihrer Bestandteile. J. Judd schreibt die Neigung der



Basaltdecken von Holmarsfjäll auf Island. (Nach Nathorst.) Vgl. Text, S. 160.

sauren Laven zur glasigen Erstarrung ihrem stärkeren Gehalt an Natron- und Kalisilikaten zu, welche nach den Erfahrungen der Glasfabrikation die Glasbildung begünstigen.

Sehr viel häufiger als die glasigen sind die kristallinisch erstarrten Laven. Die oberflächlichen Teile der Ströme lassen allerdings diese Beschaffenheit nicht immer erkennen, sie sind oft blasig und schlackig gestaltet, aber in der Tiefe der Ströme tritt die kristalline Struktur in trefflicher Entwickelung hervor, so daß ein Unterschied zwischen solchen Laven und älteren Ergußgesteinen der Basalt- und Trachytfamilie kaum angegeben werden kann.

Schon mehrfach wurde auf die Abweichungen in der Zusammensetzung der Laven hingewiesen, und es war von trachytischen und basaltischen Vorkommnissen die Rede; in der That bezeichnet der Name Lava nicht eine in chemischer und mineralogischer Beziehung bestimmt charakterisierte Felsart, sondern lediglich die Entstehung aus geschmolzenem Material, das einem Krater entstiegen ist. „Alles ist Lava, was im Krater fließt und durch seine Flüssigkeit neue Lagerstätten einnimmt", lautet die Definition von Leopold von Buch. Immerhin ist es eine ziemlich beschränkte Zahl von Gesteinen, denen sich die Laven anreihen: es sind vorwiegend Gesteine der

Trachyt- und Basaltfamilie und der zwischen beiden Typen in der Mitte stehenden Abänderungen. Daneben kommen allerdings noch einzelne andere Felsarten vor, die durch ihren Gehalt an gewissen Mineralien, Leucit, Nosean, Nephelin ꝛc., ausgezeichnet sind. Übrigens sind die beiden Typen der Trachyte und Basalte nicht nur in chemischer und mineralogischer Zusammensetzung verschieden, sondern auch der physiognomische Charakter der von ihnen gebildeten Ströme zeigt Differenzen. Die Basaltmassen sind viel mehr geneigt, sich weit auszubreiten, über große Strecken zu fließen, während die Trachytlaven zähere Konsistenz zu besitzen scheinen und mehr kompaktmassig beisammen bleiben. Bei den ersteren findet man sowohl in den neueren als in den älteren Vorkommnissen die Deckenform besonders häufig entwickelt; der oben erwähnte riesige Strom des Skaptarjökull auf Island, welcher viele Quadratmeilen bedeckt, ist basaltischer Natur, und fast in jeder vulkanischen Gegend findet man diese Regel bestätigt, während die Trachyte kürzere, breitere, stärker gewölbte Formen bilden.

Die einzelnen Vulkane bleiben sich in der Beschaffenheit ihrer Laven durchaus nicht gleich. Aus manchen ist allerdings, solange sie thätig sind, nur Eine Art von Gesteinen hervorgegangen, aber von einer sehr großen Menge unter ihnen wissen wir, daß sie sowohl basaltische als trachytische Produkte geliefert haben; einzelne, wie z. B. Hekla und Krafla auf Island, bringen bald die eine, bald die andere Gruppe von Gesteinen hervor. Weit häufiger aber ist eine gewisse Regelmäßigkeit in der Weise eingehalten, daß in einer früheren Hauptperiode die eine, in einer späteren die andere Art von Laven erscheint, wobei gewöhnlich die trachytischen Gesteine den basaltischen vorangehen. So ist es auch beim Vesuv der Fall, an welchem die Somma aus kieselsäurereichen Gesteinen besteht, während alle neueren Eruptionen kieselsäurearme Leucitgesteine liefern. An anderen Punkten wird die Sache dadurch verwickelter, daß nach der basaltischen Periode oft noch eine zweite, kürzere Zeit der Trachytergüsse stattfindet. Eine komplizierte Altersfolge eruptiver Felsarten hat von Richthofens Scharfblick in Ungarn und im westlichen Nordamerika erkannt. In diesen Gebieten zeigen die ältesten Ergüsse einen mehr basischen Charakter, sie bestehen aus Propylit und Andesit; dann steigt die Acidität, es werden Trachyte und nachher sehr saure Rhyolithe gefördert, und den Schluß bilden wieder Basalte. Diese merkwürdige, nach ihrem Entdecker benannte Reihe scheint sich auch in Japan, auf den Liparen und in manchen anderen Gebieten zu bestätigen.

Wenn wir so in sehr vielen Vulkangebieten die Produkte, welche zu Tage gefördert werden, einem Wechsel unterworfen sehen, so drängt sich uns unmittelbar die Frage nach der Ursache dieser Erscheinung auf. Offenbar müssen in der Tiefe, aus welcher die Laven herstammen, die zweierlei Materialien voneinander gesondert sein, sie müssen verschiedene Lagerstätten einnehmen; eine und dieselbe vulkanische Esse wird also zu verschiedenen Zeiten, wie wir ganz allgemein sagen können, aus verschiedenen Herden gespeist. Man nimmt vielfach und mit guten Gründen an, daß in den einzelnen Fällen vorzüglich zwei Herde vorhanden seien, von denen der eine die kieselsäurereichsten, der andere die kieselsäureärmsten Gesteine hervorbringt, während Mittelglieder aus einer Mengung beider entstehen. Diese Idee ist namentlich durch die scharfsinnigen Untersuchungen Bunsens über die Laven Islands begründet worden; er zeigte, daß auf dieser Insel extreme Gesteine der einen und der anderen Kategorie auftreten, welche er normaltrachytische und normalpyroxenische (besser normalbasaltische) Gesteine nennt. Sie haben folgende chemische Zusammensetzung:

	Normaltrachyt	Normalbasalt
Kieselsäure	76,67	48,47
Thonerde u. Eisenoxydul	14,23	30,16
Kalk	1,44	11,87
Übertrag:	92,34	90,50
Magnesia	0,28	6,89
Kali	3,20	0,65
Natron	4,18	1,96
Zusammen:	100,00	100,00.

Bei Untersuchung der übrigen im Kieselsäuregehalt zwischen diesen in der Mitte stehenden Gesteine ergab sich nun, daß sie bis auf kleine Abweichungen sämtlich als aus einer Mischung normaltrachytischer und normalbasaltischer Substanz entstanden gedacht werden können und in dem Prozentverhältnis der einzelnen Bestandteile dieser Annahme genau entsprechen. Findet man z. B. in einem Gestein bei der Analyse 53,08 Prozent Kieselsäure, so würde das einer Zusammensetzung aus 1 Teil Trachytmasse und 5,117 Teilen Basaltmasse entsprechen. Man kann nun berechnen, wieviel Thonerde und Eisenoxyd, Kalk, Magnesia ꝛc. das betreffende Gestein der Theorie nach haben muß, und diese Berechnung mit den thatsächlichen Ergebnissen der Analyse vergleichen, wie es in folgender Tabelle geschieht:

Chemische Bestandteile	I.		II.		III.	
	gefunden	berechnet	gefunden	berechnet	gefunden	berechnet
Kieselsäure	51,75	51,75	53,08	53,08	73,37	73,37
Eisenoxydul und Thonerde.	28,31	28,39	27,57	28,70	16,09	17,25
Kalk	10,65	10,49	10,16	9,92	2,66	2,49
Magnesia	6,13	5,90	5,81	5,32	1,05	1,52
Kali	0,96	1,01	1,06	0,61	2,90	3,01
Natron	2,20	2,46	2,32	2,37	3,93	2,35
Zusammen:	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,99

I. Gestein vom Reygadalr Foß bei Hvammr (1 Trachyt, 7,597 Basalt). — II. Gestein von Kalmanstunga (1 Trachyt, 5,117 Basalt). — III. Phonolith vom Klettaberg bei Kalmanstunga (1 Trachyt, 0,1325 Basalt).

Diese wirklich in hohem Grade merkwürdige Übereinstimmung wiederholt sich in allen isländischen Massengesteinen, ja selbst sehr viele Massengesteine aus anderen Gegenden, z. B. die von Abich untersuchten aus dem armenischen Hochland, unterliegen demselben Gesetz, während allerdings auch Gesteine vorkommen, welche dieser Regel nicht folgen und z. B. mehr als 76,87 Prozent Kieselsäure enthalten. Es geht daraus jedenfalls so viel hervor, daß es unzulässig ist, alle Massengesteine der Erde unmittelbar auf die zwei Bunsenschen Gesteinstypen zurückführen zu wollen; dagegen darf man die Annahme von zwei Hauptherden für die isländischen Vorkommnisse als erwiesen betrachten. Es ist auch sehr wahrscheinlich, daß sich alle Massengesteine jedes einzelnen Distrikts in derselben Weise untereinander verhalten und sich auf zwei Grundtypen zurückführen lassen, die in ihrer Zusammensetzung für verschiedene Gegenden gleich oder verschieden sein können.

Wir haben bisher nur ganz allgemein von zwei verschiedenen Herden gesprochen, ohne irgend eine speziellere Vermutung über deren Beschaffenheit und Lage oder über Art und Weise der Mischung ihrer Produkte. Es ist natürlich schwierig, darüber eine Ansicht zu äußern, doch kann wohl unter den verschiedenen Hypothesen diejenige, welche Sartorius von Waltershausen aufgestellt hat, die größte Wahrscheinlichkeit für sich in Anspruch nehmen. Nach der allgemeinen Annahme war die Erde ursprünglich eine geschmolzene Kugel, in welcher sich bei der Abkühlung verschiedene Substanzen nach ihrem spezifischen Gewicht näher oder ferner dem Mittelpunkt lagerten, so daß die schwersten Materialien das Zentrum einnahmen, während die leichteren sich der Reihenfolge nach in Kugelschalen um die inneren Teile gruppierten. Da nun von den Substanzen, welche man als vertreten annehmen darf, die kieselsäurereichen Silikate (Normaltrachyte) am leichtesten sind, so würden sie die äußerste Kugelschale der primitiven Erde darstellen, während die kieselsäurearmen Silikate (Normalbasalte) eine tiefere Schale ausmachen würden; die beiden Herde würden also untereinander liegen: eine trachytische Eruption hätte ihren Ursprung in geringerer, eine basaltische in größerer Tiefe. Die Mischung beider wird dadurch

bewirkt sein, daß sich auf der Grenze zwischen dem Lager der trachytischen und basaltischen Magmen beiderlei Typen gemengt haben und ineinander übergehen. Es kann aber auch der Fall gedacht werden, daß basaltische Masse beim Aufsteigen aus der Tiefe trachytisches Material mitreißt. Diejenigen Fälle, in welchen die Produkte einer und derselben Eruption nicht ihrer ganzen Ausdehnung nach homogen, sondern in verschiedenen Partien verschiedenartig zusammengesetzt sind, können so erklärt werden, daß die Mengung der beiderseitigen Materialien keine ganz gleichmäßige war, und daß sich in einer geschmolzenen Masse „Schlieren" von verschiedenartigem Charakter nicht vollständig durchdrungen haben.

Neben den Laven sind es die losen Auswürflinge der Vulkane, die uns interessieren. Die größeren Stücke, welche ausgeschleudert werden, heißen Bomben, die kleinen Stückchen Lapilli oder Rapilli; Sand umfaßt die kleinkörnigen Bestandteile, während als Asche die feinsten, staubartigen Produkte bezeichnet werden. Der Ursprung dieser Materialien kann doppelter Art sein. Oft stürzen größere oder kleinere Teile des vorhandenen Kegels bei einer neuen Eruption in den Krater, sie werden dann zerkleinert, emporgeschleudert, ausgeworfen, so daß bisweilen der alte Kegel geradezu in die Luft geblasen wird. Aber doch liefern die Trümmer des alten Walles in der Regel gewiß nur einen geringen Teil des lose ausgeworfenen Materials; die Hauptmasse besteht aus dem geschmolzenen Gestein, das aus der Tiefe herauskommt und durch die gewaltigen Dampfexplosionen zerstäubt wird „wie Wasser, das man aus einer Pistole schießt". Zahlreiche Erscheinungen beweisen dies, vor allen die bekannten „gedrehten Bomben" (s. obenstehende Abbildung), Lavastücke, die in geschmolzenem Zustand aus dem Krater ausgeworfen werden und während des Fluges durch die Luft mehr oder weniger erhärten, dabei aber infolge der rotierenden Bewegung eine spiralig gedrehte Oberflächengestalt annehmen. Die losen Auswürflinge übertreffen bei der Mehrzahl der Eruptionen die gleichzeitig ausfließenden Laven sehr bedeutend an Masse. Geschieht die Eruption unterseeisch, oder fallen die lockeren Produkte ins Meer, so bilden sie hier normal geschichtete Sedimente von vulkanischen Tuffen, welche häufig die Reste von Meerestieren umschließen; die ganze Campagna Felice von Neapel besteht aus solchen Gesteinen, die allerdings nicht auf den Vesuv zurückgeführt werden können, sondern höchst wahrscheinlich aus den Phlegräischen Feldern, nach W. Deecke aus der Kraterruine von Camaldoli herstammen.

Eine „gedrehte Bombe" vom Vesuvausbruch des Jahres 1872.

Noch ist aber unter den Auswürflingen mancher Vulkane und ganz besonders unter denjenigen des Vesuvgebiets ein ganz anderes und höchst merkwürdiges Element zu erwähnen, die „fremden Blöcke". Es sind dies Gesteinstrümmer, welche die aufsteigende Lava von den anstehenden Felsarten, die sie auf ihrem Wege aus der Tiefe zur Krateröffnung durchsetzt, losgerissen, emporgeführt und dann bei den Explosionen mit ausgeschleudert hat. Am Vesuv selbst,

am jüngeren Kegel, finden sich solche fremde Blöcke selten, in den neueren Ausbrüchen fehlen sie fast ganz; dagegen hat der alte Vesuv, der Monte Somma, in seinen vorhistorischen Eruptionen zahlreiche solche Blöcke ausgeschleudert, welche teils aus jungen Meeresbildungen mit Muschel- und Schneckenschalen, teils aus dem weit älteren lichtgrauen Kalk der Kreideformation bestehen, wie sie im Apennin und in den Sorrentiner Bergen massenhaft auftreten und offenbar auch in der Tiefe unter dem Vesuv vorhanden sind. Die Kalke haben vielfach bedeutende Veränderungen erlitten, viele Stücke sind ganz in kristallinischen Marmor umgewandelt, und durch die Einwirkung der aus Silikaten bestehenden Lava auf den kohlensauren Kalk hat sich in den Blöcken eine Reihe interessanter und oft prachtvoll kristallisierter Mineralien gebildet. Am häufigsten erscheinen Calcit, Augit, Glimmer und Olivin, etwas seltener Vesuvian, Granat, Forsterit, Humit, Sarkolith, Mejonit, Melilith, Leucit, Nephelin, Sodalith, Hauyn, Wollastonit und viele andere, welche den Vesuv zu einem der berühmtesten Fundorte für Mineralien gemacht haben.

Erhebungs- und Aufschüttungstheorie.

Wenn wir den Kegel des Vesuvs besteigen oder in einen Riß desselben hineinklettern, welcher einen tiefen Einblick in das Innere der Bergflanken gestattet, so sehen wir, daß diese ganz aus denselben Produkten gebildet sind, wie sie der Krater bei jedem Ausbruch liefert. Lose Aufschüttungen von Schlacken, Rapilli, Sand und Asche wechseln mit erstarrten Lavaströmen; sie werden durchkreuzt von Lavagängen, den Ausfüllungen von Spalten, die sich in den Wänden des Berges gebildet haben. Wir sehen überdies, daß in Zeiten gemäßigter Thätigkeit die Aufschüttung von Auswurfsprodukten den Kegel immer höher aufbaut, und daß auf diesem Wege die oft sehr bedeutenden Verluste, welche der Gipfel bei heftigen Ausbrüchen erleidet, in verhältnismäßig kurzer Zeit wieder ersetzt werden. Diese unter unseren Augen neugebildeten Teile unterscheiden sich weder im Material noch in der Lagerung von den älteren Partien des Vesuvkegels, und so dürfen wir mit voller Sicherheit schließen, daß dieser seit dem Jahre 79 lediglich aus Eruptionsprodukten aufgeschüttet worden sei.

Der Monte Somma hat in historischer Zeit keinen sicher beglaubigten Ausbruch gehabt; daß aber dieser den Kegel des Vesuvs im Halbkreis umgebende Wall den stehen gebliebenen Rest eines alten Kraters darstellt, ist eine sicher feststehende Thatsache. Auch die Somma besteht aus übereinander gehäuften Massen von Lava, Asche, Sand, Schlacken, welche dieselbe Lagerung zeigen wie am inneren Kegel selbst. Keine Spur von anderen Gesteinen als solchen, welche die Eruptionen liefern, tritt an ihr auf; alle Lagerungsformen sind so, wie wir sie an aufgeschüttetem Gebirge erwarten müssen und an sicheren Aufschüttungskegeln beobachten, und darum müssen wir auch für den Monte Somma dieselbe Entstehung annehmen. Er stellt den alten Krater dar, in dem der neue Kegel entstanden ist; auf diesen ist jetzt die Ausbruchsthätigkeit konzentriert. Allein fast bei jeder Eruption werden neue Laven ins Atrio del Cavallo ergossen, dasselbe wird ausgefüllt werden, und wenn nicht ein furchtbarer Ausbruch einmal diese Massen samt dem Gipfel wegsprengt, so wird sich mit der Zeit das Atrio del Cavallo ausfüllen, die weiteren Produkte werden sich darüber ausbreiten und Vesuv und Somma zu Einem Berge verschmelzen, an welchem die jetzige Grenze nur durch eine den jetzigen Piane ähnliche Terrasse angedeutet bleibt.

Man betrachtet jetzt allgemein den Vesuv sowohl als seine Somma lediglich als ein Produkt der Anhäufung von Auswurfsprodukten, und dieselbe Ansicht gilt überhaupt von allen Vulkanen. Diese „Aufschüttungstheorie“ steht im Gegensatz zu der „Erhebungstheorie“, wie sie von Leopold von Buch und Alexander von Humboldt begründet und dann von Dufrenoy und

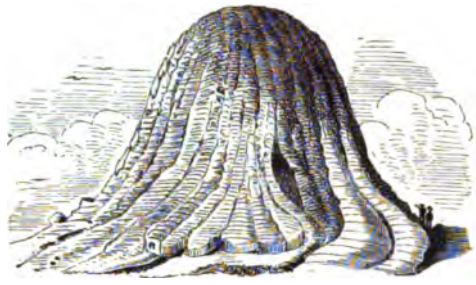
Elie de Beaumont in etwas extremer Weise ausgebildet worden ist. Verschiedene Anhänger haben dieser Anschauung bald größere, bald geringere Ausdehnung gegeben, sie alle aber kommen darin überein, daß bei den Ausbrüchen nicht nur geschmolzene Massen zu Tage gefördert, sondern daß auch die festen Ablagerungen rings um die Ausbruchstelle gehoben und aufgerichtet werden, und daß bei der Oberflächengestaltung in vulkanischen Distrikten dem letzteren Vorgang das Hauptgewicht zufällt. Als der regelmäßige Verlauf der Bildung eines Feuerberges wurde betrachtet, daß zunächst der Boden, das feste Gestein der Oberfläche, blasenförmig aufgetrieben wird. Bisweilen, nach den Auffassungen mancher Vertreter sogar in der Mehrzahl der Fälle, würde sich die ganze Erscheinung darauf beschränken, es würde gar nicht bis zu einem Ausbruch geschmolzener Massen kommen, ein Vorgang, welchem die so häufig dom- oder glockenförmigen Gebilde von Trachyten, Basalten 2c. zuzuschreiben sein werden, die keine Krater, keine Asche, keine Schlacken, keine Lavaströme erkennen lassen. Als besonders ausgezeichnete Beispiele dieser Art von Bergen werden in erster Linie die riesigen Trachytdome der südamerikanischen Anden, z. B. der Chimborazo, ferner der Puy de Dôme in Zentralfrankreich, der Vultur bei Melfi in Italien und eine sehr große Menge namentlich tertiärer Vorkommnisse von Massengesteinen genannt. In anderen Fällen dagegen platzte die Blase, und es bildete sich nun aus ihr ein Ringgebirge, der „Erhebungskrater", in dessen Zentrum allmählich der eigentlich vulkanische Auswurfskrater entstand, der Lava und lose Auswürflinge zu Tage förderte.

Nach der Erhebungstheorie wäre also der Monte Somma der Erhebungskrater des Vesuvs, während der Aschenkegel bald als reines Aufschüttungsprodukt, bald als ein zweiter, innerhalb des ersten entstandener Erhebungskrater betrachtet wurde. Manche Forscher gestanden der Aufschüttung überhaupt keine irgend nennenswerte Rolle zu und führten jede vulkanische Bergform auf Erhebung zurück, während andere, wie z. B. Humboldt in seinem „Kosmos", sich von diesen Übertreibungen fern hielten und die Existenz von reinen Aufschüttungskegeln zugaben.

Ganz abgesehen von allen Einzelbeobachtungen wird für die Erhebungstheorie schon die allgemeine Thatsache zur großen Schwierigkeit, daß die Ringwälle fast ausnahmslos nur aus vulkanischen Gesteinen bestehen. Man müßte an Elevationskratern ebenso gut Kalke, Thonschiefer, Sandsteine, kurz jedes beliebige Gestein erwarten wie Laven und Tuffe. Diese erhebliche Schwierigkeit hat zu der Annahme geführt, daß bei der ersten Abkühlung der Erde, bei der Entstehung der anfänglichen Kruste, ehe noch Gebirge vorhanden waren, sich Spalten bildeten, aus welchen Trachyte, Basalte und andere verwandte Gesteine ausflossen und weite Decken bildeten. Diese uralten Ausbreitungen nun sollen es sein, welche durch die spätere vulkanische Kraft blasenförmig aufgetrieben wurden und die Erhebungskrater bildeten. Diese Annahme erklärt aber doch nur das Auftreten solcher Gesteine an den Erhebungskratern, nicht aber deren ausschließliches Vorherrschen; es müßte auch unter dieser Voraussetzung überall eine scharfe Grenze zwischen den uralten Bestandteilen des Erhebungsringes und den jungen Auswurfsprodukten existieren, was, wie namentlich Hartung treffend hervorgehoben hat, entschieden nicht der Fall ist.

Als einer der Hauptbeweise für die Richtigkeit der Erhebungstheorie wurden die geneigte Lage zahlreicher Decken und Bänke von Lava und die außerordentliche Steilheit vieler Vulkankegel angeführt, welche über die Grenze eines natürlichen Böschungswinkels hinausgehen, und speziell wurde der größte Wert auf stark geneigte Lavaströme gelegt, da man annahm, daß deren flüssiges Material auf abschüssiger Unterlage nicht erstarren und liegen bleiben könne. Namentlich Elie de Beaumont hat diesem Gegenstand große Aufmerksamkeit zugewendet und zu zeigen gesucht, daß auf einem Gehänge von mehr als 4° Neigung in der Regel keine Lava bleibe, und daß die äußerste, nur ausnahmsweise erreichte Grenze 6° betrage. Allein der erste dieser Einwürfe beruht auf einem Irrtum; das menschliche Auge überschätzt bekanntlich die Steilheit der

Gehänge in hohem Grade, und dies macht sich vor allem bei den Landschaftszeichnungen geltend, in welchen fast immer die Berge sehr stark überhöht sind. Auf Messungen nach derartigen Zeichnungen, namentlich aus Südamerika, beruhte die Behauptung, daß die Vulkankegel zu steil seien, um durch Aufschüttung entstanden zu sein. Seither hat man genauere Daten in dieser Richtung erhalten, und diese ergeben, daß alle Angaben über exzessive Steilheit der Vulkane unrichtig sind; der Vesuv mit einer Neigung von 31° gehört schon zu den sehr steilen Kegeln, und einzelne Vorkommnisse, wie der Gunung Sumbing auf Java mit 37° und die Klutschewskaja Sopka in Kamtschatka mit 38°, gehören zu den seltenen Ausnahmen. Ein Vulkan von 40° Neigung ist nicht bekannt.



Eine glockenförmige Lavakuppe von der Insel Bourbon. (Nach Poulett Scrope.)

Was das Liegenbleiben der Lavaströme betrifft, so haben direkte Beobachtungen die Folgerungen von Elie de Beaumont als unhaltbar erwiesen; es sind mehrere Beispiele von historischen Ausbrüchen bekannt, bei welchen Laven infolge ihrer Zähigkeit auf steiler Unterlage erstarrten, und namentlich im Ätnagebiet hat Lyell eine Anzahl von Fällen nachgewiesen, welche in dieser Beziehung vollkommen entscheidend sind. So findet sich z. B. dort ein Lavastrom, der auf einem Thalgehänge unter 35° erstarrt ist, während die Lage des Hauptstroms, von dem er abzweigt, und der Tuffschichten, über die er seinen Weg genommen hat, jede Idee von einer Hebung unmöglich macht; ja, von der Insel

Der Mount Egmont auf Neuseeland. (Nach Hochstetter.) Vgl. Text, S. 169.

Bourbon im Indischen Ozean wird eine Art von Lavaturm beschrieben, der eine schlanke, glockenförmige Gestalt besitzt, die er durch das träge Ausfließen der Lava aus einer Bocca erhalten hat (s. die obere Abbildung).

Ein sehr entscheidender Grund gegen die Erhebungstheorie in ihrer weiten Ausdehnung ist der, daß ein normal kegelförmiger oder glockenartiger Berg nicht durch Auftreibung einer horizontal gelagerten Gesteinsmasse entstehen kann, ohne daß eine Zerreißung eintritt und sich gewaltige Sprünge zeigen, von denen bei der Mehrzahl keine Spur zu finden ist. Bei manchen hat man allerdings solche Sprünge nachweisen wollen, allein ohne Erfolg. Mehrere Vulkane auf Java haben auf ihrer streng kegelförmigen Oberfläche strahlenförmig nach abwärts verlaufende

Rinnen; dasselbe bemerkt man nach Hochstetters Schilderung an dem Mount Egmont auf Neuseeland (s. Abbildung, S. 168, unten), und noch einige andere Beispiele sind angeführt worden. Allein diese Thäler erweitern sich nicht nach oben, wie es der Fall sein müßte, wenn sie ihre Entstehung einer Erhebung verdankten; es sind lediglich Wassereinrisse, welche die ablaufenden Gewässer eingeschnitten haben. Ähnlich verhält es sich mit den merkwürdigen, Barrancos genannten Schluchten, welche namentlich auf den Kanaren sehr entwickelt auftreten; wir werden bei einer späteren Gelegenheit auf diese Erscheinungen zurückkommen, hier sei nur vorläufig erwähnt, daß sie mit einer Hebung nichts zu thun haben und lediglich durch den Abfluß des Wassers erzeugt sind.

Schematischer Durchschnitt eines Vulkans. (Nach Poulett Scrope.)

Man hat auch historische Berichte über die Entstehung neuer Vulkane als Beweismittel für die Erhebungstheorie verwertet, aber ohne Erfolg. Eine Schilderung aus dem klassischen Altertum über die Entstehung eines Feuerbergs auf der Halbinsel Methana an der Nordküste des Peloponnes, die wir bei Ovid finden, kann nicht wohl als Beweismittel gelten. Sehr berühmt ist der Jorullo in Mexiko geworden, dessen Ausbruch in der Nacht vom 28. auf den 29. September 1759 mitten in einer fruchtbaren Ebene erfolgte. Es wird von den Umwohnern erzählt, daß hier eine blasenartige Auftreibung des Bodens stattgefunden habe; allein die Leute hatten sich auf eine 2260 Fuß über der Ebene, in der die Eruption stattfand, gelegene Höhe geflüchtet und sahen den Vorgang aus dieser Entfernung an, wobei natürlich von keiner sicheren Beobachtung die Rede sein kann. Das sogenannte Malpais des Jorullo ist ein Lavafeld, das in seiner jetzigen Erscheinung wohl keinen hinreichenden Grund für die Annahme einer blasenförmigen Hebung gewährt.

Ein Vulkankegel auf Neuseeland, horizontalen Tertiärschichten aufgesetzt. (Nach Poulett Scrope.) Vgl. Text, S. 170.

Eine Reihe von wichtigen Beobachtungen steht jedoch mit der Elevationstheorie in ihrer extremen Form durchaus im Widerspruch. So finden wir in Vulkanen von verhältnismäßig einfachem Bau, bei denen nicht durch zahlreiche sich wiederholende Eruptionen die Lagerung unklar geworden ist, daß zwar die Hauptmasse der Auswürflinge ꝛc. in der Weise angeordnet ist, daß die Bänke nach allen Seiten hin nach außen, vom Zentrum des Vulkans weg, einfallen; dies gilt aber nicht von dem Inneren des Kraters, im Gegenteil findet man hier, daß die Schichten alle nach innen, gegen das Zentrum, fallen (s. die obere Abbildung). Wir finden „quaqua-

versale" Schichtung, wie man sie z. B. im Inneren der Solfatara von Puzzuoli sehr gut beobachten kann. Diese Thatsache erklärt sich sehr leicht durch Aufschüttung, indem die vom Kraterrande nach innen fallenden Auswürflinge notwendig eine derartige Böschung bilden und sich demgemäß im Laufe der Zeit schichtweise anordnen müssen; durch Elevation ist das Einfallen gegen das Zentrum des Kraters unerklärlich.

Wichtiger als diese Betrachtung sind wohl Beobachtungen im großen, in Fällen, in welchen das tektonische Verhalten eines Kraters zu den benachbarten älteren Gesteinen zu sehen ist. So bildet Poulett Scrope einen sehr lehrreichen Fall eines kleinen Vulkankegels auf Neuseeland ab, der sich über horizontal gelagerten Tertiärschichten erhebt (s. Abbildung, S. 169, unten). Diese letzteren sind dadurch nicht nur nicht aufgerichtet, sondern sogar ein wenig gegen die Ausbruchstelle nach abwärts gebogen. Dutton beschreibt einen auf horizontalen Schichten aufgesetzten Vulkan aus dem Cañon des Colorado (s. Abbildung, S. 271). Von Bedeutung sind ferner die Untersuchungen von Tietze an dem riesigen, wohl bei 20,000 Fuß hohen Vulkan Demawend in Persien. Das Elburzgebirge im nördlichen Persien verläuft von Osten nach Westen am Südrand des Kaspischen Meeres, in seinem östlichen Teil ist ihm der Riesenkegel des Demawend aufgesetzt; aber derselbe bringt im Streichen und Fallen der Schichten, im ganzen Gebirgsbau, nicht die mindeste Änderung hervor, und keineswegs sieht man domförmig aufgerichtete Schichten nach allen Seiten von ihm abfallen, sondern er ruht als passive Masse auf dem gefalteten Gebirge.

Wir haben gesehen, daß alle normalen Erscheinungen der Vulkane sich durch die Aufschüttungstheorie sehr gut erklären lassen, und daß die thatsächlichen Beobachtungen damit übereinstimmen, während die Beweise für die Elevationstheorie der Kritik nicht standhalten, ja dieser Theorie unüberwindliche Schwierigkeiten entgegenstehen; infolgedessen hat man sich von der Annahme der Erhebungskrater abgewendet. Zuerst fanden Junghuhn und Dana ihre Beobachtungen mit dieser Anschauung unvereinbar, vor allen aber waren es Lyell, Constantin Prevost und Poulett Scrope, welche in entschiedenster Weise gegen die Hebungstheorie auftraten; sie haben zahlreiche Anhänger gefunden, und ihre Ansicht ist jetzt die allgemein herrschende geworden. In der That ist es ein großer Fortschritt, daß man nicht mehr in jedem Ringwall eine Erhebung sieht, und daß die Wirkung der Aufschüttung als die allein maßgebende betrachtet wird. Aber wenn wir darin auch mit der Mehrzahl der Geologen übereinstimmen, so drängt uns doch eine strengere Kritik die Überzeugung auf, daß man in der Reaktion vielfach zu weit geht, indem man überhaupt das Vorkommen irgend welcher Hebungserscheinungen bei Vulkanausbrüchen durchaus in Abrede stellt; man hat das Kind mit dem Bade ausgeschüttet und unbestreitbare Thatsachen ignoriert, indem man alle Elevationserscheinungen, selbst in ganz untergeordneter Rolle neben der Aufschüttung, leugnet. Es mögen hier einige solche Fälle erwähnt werden, welche diese Behauptung rechtfertigen und zur Vorsicht vor Übertreibung mahnen können.

Ein solches Beispiel wurde schon von Poulett Scrope, dem entschiedensten Gegner der Erhebungstheorie, beschrieben und auch in seiner Bedeutung richtig erkannt. In dem erloschenen Vulkangebiet Frankreichs, in der Auvergne, befindet sich ein alter Kegel, der Puy Chopine, der von einem halbkreisförmigen Ringwall, dem Puy de la Goutte, umgeben wird wie der Vesuv von der Somma. Der Puy Chopine hat nun die höchst merkwürdige Eigentümlichkeit, daß an seiner Zusammensetzung nicht nur junge Eruptivgesteine, Trachyt und Basalt, Anteil haben, sondern daß auch uralter Granit an demselben auftritt. Auf der einen Seite des Berges ist nur Trachyt zu sehen, auf der anderen Flanke, gegen Süden, Südosten und Südwesten, ist die Basis aus Basalt und basaltischen Schlacken zusammengesetzt (s. Abbildung, S. 171), über welche sich eine mächtige

tafelförmige Masse von Granit erhebt, während zu oberst Trachyt auftritt; die Granittafel liegt nach Scrope zwischen Basalt und Trachyt „wie das Fleisch in einem Sandwich". Stellenweise zeigt sich übrigens auch Trachyt unter dem Granit. Es ist noch keine Erklärung gegeben worden, welche allen Einzelheiten dieses seltsamen Vorkommens hinreichend gerecht würde; so viel aber ist sicher, daß die Lage des Granits auf die lokale Hebung einer mächtigen Scholle älteren Gebirges bei der Eruption des Puy Chopine hinweist.

Analoge Erscheinungen in weit großartigerer Entwickelung hat Abich in seinem prachtvollen Werke über das armenische Hochland geschildert: in unmittelbarer Nähe der Stadt Erzerum erhebt sich 3147 m über den Meeresspiegel, 1145 m über die Ebene der Berg Palandokän, dessen mächtiger Krater nicht nur aus jungen eruptiven Massen besteht, sondern neben diesen in zweiter Linie Serpentine, Chloritschiefer, Kalke, Gipse enthält, die in heftigster Weise gestört und von den Trachyten „überwältigt" sind, so daß auch hier eine Bewegung und Aufrichtung älterer Massen bei einer Eruption angenommen werden muß.

Der Puy Chopine in der Auvergne, mit eingelagerter Granittafel. (Nach Poulett Scrope.) Vgl. Text, S. 170.

Vor dem submarinen Ausbruch bei Pantelleria wurde die Küste dieser vulkanischen Insel in den Jahren 1890 und 1891 auf 10 km Erstreckung um 0,8 m gehoben, unter Umständen, welche es, wie wir weiter unten sehen werden, zweifellos machen, daß diese Hebung infolge des Wiedererwachens der vulkanischen Kräfte eingetreten ist, und ebenso ist der Entstehung des Monte Nuovo in den Phlegräischen Feldern im Jahre 1538 und wohl auch dem Vesuvausbruch von 1861 eine vulkanische Hebung vorangegangen. Noch eine Reihe von Erscheinungen, vorab die sogenannten Lakkolithen und andere Intrusionsformen, zeigen an, daß der Durchtritt des vulkanischen Magmas durch die Erdkruste unter bedeutendem Druck vor sich geht. Die Erscheinungen dieser Art werden wir weiter unten besonders besprechen; sie spielen sich in größeren Tiefen der Erdkruste ab, während die Vulkankegel Oberflächenformen des Magmas darstellen und als solche ein reines Produkt der Aufschüttung sind.

Die Besprechung des Vesuvs und seines Baues hat uns den allgemeineren Fragen über die vulkanische Thätigkeit näher geführt. Wir wollen hier vorerst abbrechen und zu unserem Ausgangspunkt, dem gewaltigen Feuerberg des Golfs von Neapel, zurückkehren. Wenn wir nochmals die Geschichte desselben in großen Zügen vor unseren Augen vorübergehen lassen, so finden wir eine durch einige Jahrtausende an derselben Stelle thätige vulkanische Esse, die bald in langen Zwischenräumen, bald ohne wesentliche Unterbrechung, bisweilen in gemäßigtem Tempo, zu anderen Zeiten in wilden Paroxysmen Lava und lose Auswürflinge ausgestoßen und durch

Anhäufung derselben den Berg aufgeschüttet hat. Eine erste, größtenteils vorhistorische Periode hat trachytisches Material geliefert; der Monte Somma war thätiger Vulkan. Eine mehrhundertjährige Ruhe schließt diese Periode ab, und es beginnt mit dem Auswurf vom Jahre 79 eine neue Phase. Statt der Trachyte brechen von nun an kieselsäurearme, leucitische Gesteine hervor; exzentrisch baut sich im Inneren des Sommaringes der neue Vesuvkegel auf, der im Verlauf von nun 1800 Jahren abwechselnd durch Aufschüttung wächst oder bei heftigen Explosionen wieder den oberen Teil seines Gipfels verliert; bleibend aber erweitert er seine Basis durch beginnende Ausfüllung des Atrio del Cavallo und durch Überschüttung der Piane. Wir stehen mitten in dieser Entwickelung, die, wenn sie ununterbrochen fortdauert, endlich wieder Vesuv und Somma zu einem Riesenkegel vereinigen kann.

Die Phlegräischen Felder.

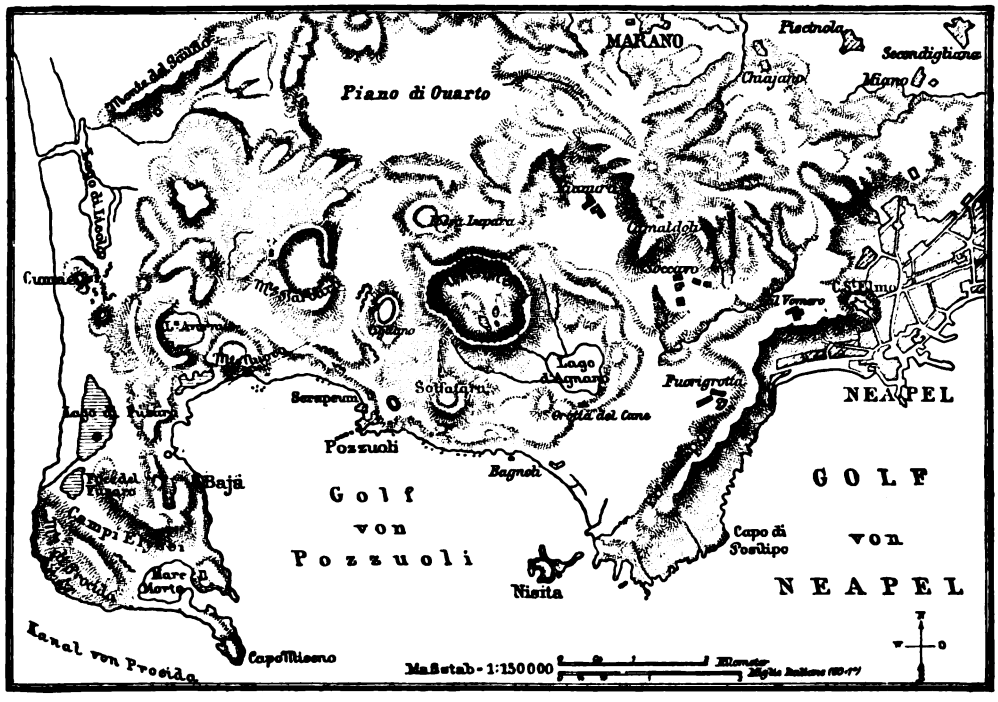
Ein durchaus anderes Bild vulkanischer Thätigkeit, als wir es beim Vesuv kennen gelernt haben, tritt uns entgegen, wenn wir uns der Nordseite des Golfes von Neapel, den Phlegräischen Feldern (s. die Karte, S. 173), zuwenden, die sich von der Stadt bis zum Kap Misenum erstrecken. In wenige Worte zusammengedrängt, besteht der Charakter dieses Gebietes in dem ausschließlichen Dominieren trachytischer Gesteine, in dem Zurücktreten der Laven, in dem enormen Vorwiegen loser Eruptionsprodukte und aus ihnen gebildeter Tuffe und darin, daß nicht, wie am Vesuv, ein dauernder Ausbruchsmittelpunkt vorhanden ist, sondern daß sich im Laufe der Zeit bald hier, bald dort eine Bocca gebildet hat, die bald nur eine, bald einige wenige Eruptionen liefert und dann wieder in Ruhe versinkt.

Die Zahl der Krater in diesem Gebiet ist sehr bedeutend, man gibt einige zwanzig an; doch sind diese Schätzungen sehr unsicher, da es in einer Reihe von Fällen nicht mehr zu entscheiden ist, ob man es in einer vorliegenden Reliefform mit den Resten eines durch die Erosion stark mitgenommenen Ringwalls zu thun habe oder nicht. Ein Beispiel dafür liefert schon die Stadt Neapel selbst und ihre unmittelbare Umgebung; Breislak nimmt in und um Neapel mit Einschluß des Posilippo fünf alte Krater an, doch gewährt keiner derselben entscheidende Anhaltspunkte für diese Deutung. Erst weiter im Westen beginnen unzweideutige Kraterbildungen mit der Insel Nisita, dem Lago d'Agnano und der Pianura von Camaldoli; von da erstrecken sie sich dicht gedrängt bis zum Kap Misenum und finden ihre Fortsetzung in den Inseln Procida und Ischia. Einen lehrreichen Überblick über diese mannigfachen Ringwälle gewährt das Kloster Camaldoli, der höchste Punkt des ganzen Striches (450 m) und selbst auf dem Ringwall eines alten, teilweise zerstörten Kraters erbaut, des größten im ganzen Gebiet der Phlegräischen Felder, der sogenannten Pianura. Mit Recht gilt diese Aussicht als eine der schönsten der Welt, und ganz besonderen Reiz erlangt sie für den, der geologisch zu sehen weiß und vielleicht, von hier aus zum erstenmal eine vulkanische Landschaft von einem dominierenden Höhenpunkt überblickt und im Astroni sowie in der Solfatara Repräsentanten der merkwürdigen Ringgebirge in wunderbarer Klarheit vor seinen Füßen ausgebreitet sieht.

Es ist natürlich nicht möglich, hier alle die einzelnen Vorkommnisse zu schildern, nur einige der merkwürdigsten mögen genannt werden. Wohl eine der vollendetsten Kraterformen ist der Astroni; die Einsenkung in der Mitte ist elliptisch und mißt gegen 2000 m in der großen, etwa 1300 m in der kleinen Achse. Seine Gehänge sind außerordentlich steil, als einziger Zugang ins Innere dient ein künstlicher Einschnitt, im übrigen bilden die Abstürze eine Mauer um die waldige Sohle und stellen so einen natürlich eingehegten Wildpark dar. Die Wände bestehen aus

trachytischem Tuff, aus den losen, aufgeschütteten Auswurfsprodukten des Vulkans, welcher niemals Lava ergossen hat; wohl aber sieht man im Inneren einige Hügel aus festem Trachyt, der offenbar hier aus der Tiefe heraufgedrungen, aber im Grunde des Kraters erstarrt ist, ohne sich durch dessen Wände oder über den Rand hinweg einen Ausweg bahnen zu können.

Von einer Thätigkeit des Astroni in historischer Zeit weiß man nichts; anders verhält es sich mit einem anderen benachbarten Berge, der berühmten Solfatara, welche einer ganzen Kategorie vulkanischer Erscheinungen den Namen gegeben hat. Ganz in der Nähe von Puzzuoli erhebt sich der weite Ringwall ungefähr 200 m über die Meeresfläche an seiner höchsten, zu 166 m an seiner tiefsten Stelle. Der sehr flache, etwa 500 m im Durchmesser haltende Kraterboden liegt nicht ganz 100 m hoch, also kaum 70 m niedriger als die tiefste Stelle der Umwallung.



Karte der Phlegräischen Felder. Vgl. Text, S. 172.

Die trachytischen Tuffe, welche den Berg zusammensetzen, sind ganz zersetzt und gebleicht von den durchströmenden Dämpfen und ebenso der Boden der inneren Ebene, der an vielen Stellen auffallend hohl klingt, sei es infolge des Vorhandenseins unterirdischer Hohlräume, sei es, weil die starke Porosität des Gesteins den Widerhall verursacht. An dem großenteils mit immergrünem Buschwerk, mit Lorbeer, Erdbeerbäumen, Vitex ꝛc. bewachsenen Innenrand des Kraters bleibt doch das Gestein an vielen Stellen, namentlich in der östlichen Hälfte, hinreichend entblößt, um die Schichtung des Tuffes sehr deutlich erkennen zu lassen, und hier finden wir jenes oben erwähnte allseitige Einfallen der Bänke gegen das Zentrum des Kraters, die für den Innenrand der aufgeschütteten Kegel charakteristische „quaquaversale Schichtung", sehr deutlich ausgesprochen. An mehreren Stellen entsteigen meist schwefelwasserstoffhaltige Fumarolen dem Boden, vor allem aber ist das an der Hauptbocca am östlichen Ende des Kraters der Fall; dort ist in einer kleinen Grotte ein Pfuhl trüben Wassers, aus dem sich unter lautem Brausen und Geheul Wasserdampf und Schwefelwasserstoff stürmisch entwickeln. Es ist das ein Überbleibsel der ehemals viel

intensiveren Thätigkeit dieses Kraters, der nun in eine Phase getreten ist, welche sehr viele Vulkane auf dem Wege zu vollständiger Ruhe durchmachen. An nicht wenigen Punkten auf der Erde findet man Exhalationen von Schwefelwasserstoffgas oder von schwefliger Säure als letzten Rest der ehemaligen Aktivität und bezeichnet sie als Vulkane im Stadium der Solfatarenthätigkeit oder schlechthin als Solfataren.

Die Solfatara von Puzzuoli hat in früher Zeit, aus der uns keine Überlieferung erhalten ist, Lava ausgestoßen; ein Teil ihres Randes ist aus solcher gebildet, und vielleicht stellt auch der Trachyt des Monte Olibano einen alten Lavastrom dar. Aller Wahrscheinlichkeit nach haben wir auch aus historischer Zeit eine Eruption von hier zu verzeichnen und zwar aus dem Jahre 1198, aus einer der großen Pausen des Vesuvs.

Weitaus der wichtigste und interessanteste Punkt in den Phlegräischen Feldern ist der Monte Nuovo (s. untenstehende Abbildung), ein 139 m über das Meer aufragender Kraterkegel, der sich durch eine heftige Eruption im Jahre 1538 an einer bis dahin ebenen Stelle im Laufe weniger Tage aufgebaut hat. Es ist das einer der seltenen Fälle, in welchen wir genauere Berichte über das erste Entstehen eines neuen Vulkans besitzen, und überdies spielt sich die ganze Geschichte des Berges in wenigen Tagen ab, so daß die hier vorliegenden Thatsachen von Bedeutung für die Theorie der Vulkane sind. Es liegen uns vier Dokumente aus jener Zeit vor, unter welchen ein Brief von Francesco del Nero und der Bericht des Marco Antonio degli Falconi besondere Aufmerksamkeit verdienen. Der erstere lautet:

Der Monte Nuovo bei Puzzuoli. (Nach Lyell.)

„Ich weiß nicht, ob Sie in Pozzolo gewesen sind. Sechs Bogenschüsse weit jenseit der Stadt beginnt eine Ebene; dieselbe war etwa eine halbe Miglie breit und umfaßte einen Teil des Meerbusens rechts vom Berge; jetzt sind die ganze Breite der Ebene und ein Teil des Berges in einen Feuerschlund verwandelt, und in der Länge nimmt dieser denselben Raum ein. Wohl ist das Ereignis in natürlicher Weise vor sich gegangen, aber doch ist es sehr wunderbar und beachtenswert; Aristoteles hebt zwei ähnliche Fälle in seinen ‚Meteorologica', Band 2, als denkwürdig hervor; der eine davon ereignete sich in Pontus, der andere auf der Insula Sagre. Am 28. September, ungefähr um 18 Uhr (12 Uhr 15 Minuten) mittags, trocknete das Meer bei Pozzolo auf eine Strecke von 600 Bracce ein, so daß die Einwohner von Pozzolo ganze Wagenladungen von Fischen einbringen konnten, die auf dem Trocknen liegen geblieben waren. Am 29. September um 14 Uhr (8 Uhr 15 Minuten) morgens senkte sich da, wo heute der Feuerschlund ist, die Erde um 2 Canne, und es brach eine Wasserader hervor, sehr kalt und klar nach den einen, lau und schwefelig nach den anderen, die wir befragt haben. Und da die befragten Leute sämtlich auch glaubwürdige Personen sind, so meine ich, daß sie alle die Wahrheit berichtet haben, und daß das Wasser zuerst auf die eine und dann auf die andere Weise hervorkam, und daß auch.... Zu

Mittag desselben Tages begann die Erde an derselben Stelle aufzuschwellen, so daß sie da, wo sie um 2 Canne gesunken war, um 1½ Uhr (7 Uhr 45 Minuten) abends so hoch war wie der Monte Nuosi an der Stelle, wo das Türmchen steht. Um diese Zeit begann das Feuer und bildete den Schlund mit solcher Gewalt, solchem Getöse und Glanz, daß ich im Garten große Angst hatte; doch nicht so sehr, daß ich mich nicht, ehe ⅔ Stunden vergangen waren, obwohl halb krank, auf eine Anhöhe hier in der Nähe begeben hätte, von der aus ich alles sah. Und bei meiner Treue, es war ein schönes Feuer, welches über sich so viel Erde und so viel Steine gehoben hatte, und fortwährend warf es solche in die Höhe, und diese fielen im Umkreise des Feuerschlundes nieder und füllten auf der Seite gegen das Meer hin einen Halbkreis des Meeres aus wie ein Bogen, dessen Sehne 1½ Miglien, dessen Pfeil ⅔ Meilen betrug.

„Auf der Seite gegen Pozzolo hat es einen Berg gebildet fast so hoch als der Monte Morello, und auf 70 Miglien im Umkreis hat es Land und Bäume mit Asche bedeckt. Auf meinem Landgut ist kein Blatt, auf dem sie nicht so hoch wie eine Kreiselschnur liegt. Aber nahe bei Pozzolo, auf 6 Miglien, ist kein Baum, an dem nicht alle Äste abgebrochen wären, und man erkennt nicht, daß Bäume dagestanden sind, denn hier ist sie gröber gefallen und war weich und schweflig und schwer, und sie hat nicht nur die Bäume absterben gemacht, sondern auch eine Menge Hasen, Vögel und andere kleine Tiere, die da waren, getötet. Ich war gestern genötigt, mich zu Meere wieder nach Pozzolo zu begeben, mit Messer Cecco di Loffredo, welcher die Sache, die Messer Pavolo Antonio angeht, führt. Alle Welt war da, um zu schauen, und staunte, und es war nichts zu sehen als der Berg; ich sage nichts im Vergleiche zur ersten Nacht, als der Ausbruch stattfand, d. h. als ich zu schauen ging. Und da niemand aus Neapel das Feuer sah und nur wenige andere, welche die Sache wiederzusagen wüßten, so bin ich fast der einzige, der es erzählen könnte; denn seit der Nacht, in welcher die Menge Leute von hier hingegangen, ist nichts entfernt so Wunderbares erfolgt wie jenes: ich will daher die Sache exemplifizieren. Denken Sie sich, die Engelsburg sei der Feuerschlund, der voll von aufrecht stehenden Raketen sei, so daß eine die andere berührt, und diese würden in Brand gesteckt. Es ist kein Zweifel, daß diese Raketen, obwohl sie gerade in die Höhe gehen, doch beim Fallen eine gewisse Drehung erleiden und nicht auf das Kastell fallen, von dem sie aufgestiegen sind, sondern auf den Tiber oder auf die Wiesen. Denken Sie sich dann, es wären so viele Raketenhülsen auf den Tiber gefallen, daß sie ihn anfüllten und sich 4 Canne hoch auftürmten; und gegen die Wiesen seien so viele gefallen, daß sie aus dem Weinberg des Messer Bindo bis zum Monte Mario hin einen Berg machten fast so hoch als Santo Silvestre im Tusculano; gegen San Pietro wären nicht viele Raketen gefallen, weil Westwind wehte und sie nach den früher genannten Teilen trieb. So machte es jener Schlund, welcher gewaltige Massen von Erde und Steine von der Größe eines Ochsen in eine Höhe warf, die nach meinem Urteil 1½ Miglien betrug. Dann fielen sie wieder in der Nähe des Schlundes in ein oder zwei oder drei Armbrustschuß Entfernung nieder; so füllten sie in einer Nacht jenes Meer (d. h. jenen Meeresteil) aus und bildeten den genannten Berg. Diese Erde und Steine fielen trocken nieder. Dasselbe Feuer warf zur selben Zeit auch eine andere leichtere Erde und kleinere Steine bedeutend weiter in die Höhe; und sie fielen in größerer Entfernung vom Feuer nieder und waren weich und schlammig, ein deutliches Zeichen, daß sie die kalte Region erreichten; und sie machten es wie andere Dämpfe, die, wenn sie dorthin gelangen, sich in Wasser verwandeln. Diese selbe Ursache bewirkte auch, daß die Asche weich und mit etwas Wasser niederfiel, obwohl der Himmel heiter war. Ich könnte wiedergeben und bezeichnen die natürlichen Ursachen sowohl, als die materiellen, als die formellen, als auch die wirksamen, für das Eintrocknen des Meeres, die von dem Ursprung jener zuerst kalten, dann lauen Wasseraber herrührten; die Ursachen für die Senkung des Bodens und dann für dessen

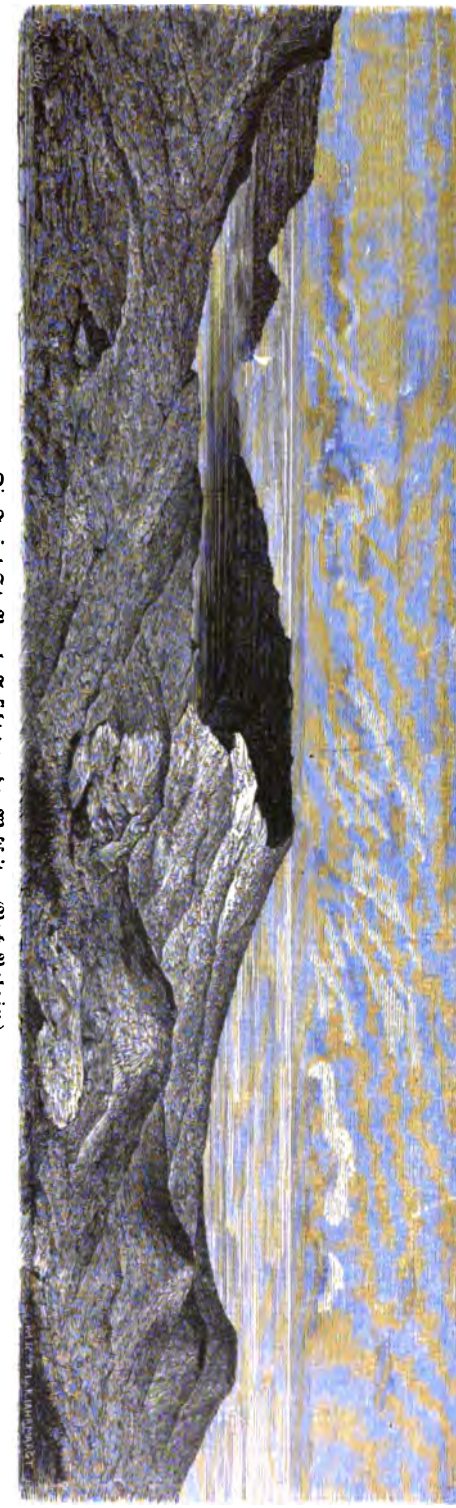
Erhebung, endlich für den Ausbruch des Feuers. In derselben Weise für die Erdbeben, die man hier vorher durch zehn Tage zehnmal in der Stunde fühlte, während in Pozzolo die Erdbeben gar nicht aufhörten; und nach dem Ausbruch waren sie weder hier noch dort mehr zu fühlen. Da ich aber weiß, daß Messer Simone Porzio dieselben dem Vizekönig und dem erlauchten Farnese in sehr gelehrter Weise geschrieben hat, so will ich nicht, daß es aussehe, als wollte ich mich mit fremden Federn schmücken. Pozzolo ist ganz unbewohnt, und man würde das Meer nicht wiedererkennen, das gepflügtes Land zu sein scheint. Zu oberst liegt eine Schicht von Steinchen, die man hier Rapilli nennt, einen halben Palm hoch, welche oben auf schwimmen. Was ich mir aber im Kopfe nicht zurechtlegen kann, ist die große Masse des Materials, das aus diesem Schlunde herausgefördert worden ist; betrachtet man, was ins Meer gelangt ist, den Berg, der sich gebildet hat, die Asche von der Sie wissen, daß sie davongetragen wurde, und daß sie der Rückstand des verbrannten Materials ist; wenn man all das vereinigen könnte, so würde es einen riesigen Berg bilden. Denn erst heute morgen habe ich mit jemand gesprochen, der von Jebeli (Eboli?) kam, das 45 Miglien von dem Feuer entfernt ist, und er sagte mir, daß dort dieselbe Asche gefallen sei, und es scheint, daß das Feuer sich unter der Erde mehr als 10 Miglien weit gerührt und diese große Masse von Erde in die Höhe geworfen habe; und wenn dies nicht genügen würde, so müßte es sich noch weiter ausbreiten. Und wolle Gott, daß die Höhle sich nicht bis unter Neapel gebildet habe; und erst gestern, als wir zu Lande von Pozzolo zurückkehrten, sahen wir zwei neugebildete Feueressen nahe bei Neapel, nur 3 Miglien entfernt (?). Von ausgezeichneten Männern sind brillante Disputationen gehalten worden, und manche glauben, daß große Gefahr für Neapel vorhanden sei. Man hat Prozessionen veranstaltet, und es wird eine Unzahl sehr tiefer Brunnen zwischen Neapel und Pozzolo gegraben werden, um das Feuer zu löschen. Was die Aspekten betrifft, so bedeutet der Umstand, daß die Raketen, wie ich gesagt habe, von Westen nach Osten geflogen sind, daß der Kaiser die Türken angreifen werde. — Aus Neapel."

Aus diesem Bericht ergibt sich in erster Linie, daß der Monte Nuovo sich mitten in einer Ebene erhoben hat, und daß die Eruption nicht etwa aus einem alten, schon vorhandenen Kraterwall geschehen ist, wie man stellenweise hat annehmen wollen; seine Aufschüttung füllte auch eine einspringende Bucht des Meeres teilweise aus. Ferner ging der Eruption eine leichte Erhebung des Bodens voran.

Dieser letztere Umstand wurde vielfach bestritten, aber mit Unrecht, wie sich aus den umfassenden Studien von E. Sueß über diese Frage ergibt. Der genannte Forscher hat neuerdings die Aufmerksamkeit auf den fast verschollenen Bericht des Marco Antonio degli Falconi gelenkt. Wir finden in diesem überaus seltenen Dokument eine zwar rohe, aber vertrauenswürdige Abbildung des Ausbruchs des Monte Nuovo und des verlassenen, gehobenen Meeresstrandes und können auf Grund dessen und aller übrigen Umstände nicht mehr daran zweifeln, daß eine Hebung des Bodens wirklich stattgefunden hat. Man kann heute den alten Berichten ein viel größeres Vertrauen entgegenbringen, da neue und zweifellose Erfahrungen, wie die Hebung der Küste von Pantellaria vor dem submarinen Ausbruch von 1891, damit in vollem Einklang stehen. Wir werden auf diesen Gegenstand bei der Besprechung der sogenannten kontinentalen Hebungen zurückkommen müssen und begnügen uns daher hier mit der Bemerkung, daß die Folgerungen von allgemeiner Tragweite, welche man an dieses Ereignis wie an den am Serapistempel von Puzzuoli nachweisbaren höheren Stand des Meeresspiegels vor der Bildung des Monte Nuovo geknüpft hat, jeder Begründung entbehren, denn es handelt sich hier um eine rein lokale, mit dem Aufquellen des vulkanischen Magmas in Verbindung stehende Erscheinung.

Am 3. und 6. Oktober fanden noch Ausbrüche am Monte Nuovo statt, bis zum Januar strömte Dampf aus dem Gipfel, seit dieser Zeit ist der Berg wieder erloschen. Der Kegel des

Die Insel St. Paul, Ansicht vom Kraterzipfel. (Nach Belain.)
Vergl. Text, Seite 179.



Die Insel St. Paul, Ansicht von der Westseite. (Nach Belain.)
Vergl. Text, Seite 179.

Monte Nuovo, der in dieſer Weiſe aufgeſchüttet wurde, hat, wie ſchon erwähnt, eine Höhe von 139 m, der Querdurchmeſſer ſeines Kraters beträgt etwa 370 m, und deſſen Tiefe 120 m, ſo daß der Kraterboden nur 19 m über dem Meeresſpiegel liegt. Der Berg beſteht aus Aſche, Sand und Schlacken, gemengt mit Bruchſtücken der durchbrochenen und zerſtörten hellen Tuffmaſſen des Untergrundes. Spuren eines kleinen Lavaſtroms ſind vorhanden.

Aus demſelben Baumaterial wie der Monte Nuovo beſteht nach Deecke der Vulkan der Foſſa Lupara. Dieſer zeigt aber zwei Ringwälle und einen zentralen Kraterkegel, muß daher Sitz einer länger dauernden, wahrſcheinlich in prähiſtoriſche Zeit fallenden vulkaniſchen Thätigkeit geweſen ſein.

Iſolierte Tuffinſel in der Bucht von Lacco auf Iſchia. Vgl. Text, S. 179.

Dicht neben dem Monte Nuovo liegt der Averner See, ein nur ſehr wenig über dem Meeresſpiegel erhabenes, mit Waſſer gefülltes Kraterbecken, in deſſen Nähe heiße Quellen und Schwefeldämpfe aufſteigen. Überhaupt ſind ſolche Überreſte vulkaniſcher Thätigkeit im Gebiet der Phlegräiſchen Felder ſehr verbreitet; zu ihnen gehört auch die ſogenannte Hundsgrotte, in welcher ſich eine Kohlenſäureausſtrömung, eine „Moſette“, befindet. Die Kohlenſäure, die bedeutend ſchwerer iſt als die atmoſphäriſche Luft, ſteigt infolge ihres hohen Gewichts nicht auf, ſondern breitet ſich am Boden aus und bildet über dieſem eine Schicht, in der keine Reſpiration möglich iſt und jedes warmblütige Tier ſchon in ſehr kurzer Zeit erſtickt. Dieſe Schicht reicht jedoch nicht hoch genug empor, um bis an den Mund eines aufrecht ſtehenden Menſchen zu gelangen, während z. B. ein Hund an derſelben Stelle raſch in Zuckungen verfällt und erſtickt.

Von Inſeln ſchließen ſich den Phlegräiſchen Feldern zunächſt Niſita und Procida an, von denen die erſtere eine ausgezeichnete Form von Kratern aufweiſt, die ſich bei Inſelvulkanen

an sehr vielen Stellen der Erde wiederfindet: über die Oberfläche des Meeres erhebt sich ein Ringwall, der auf einer Seite eingestürzt ist und eine weit klaffende Lücke zeigt, und da der Kraterboden tiefer liegt als der Meeresspiegel, so ist das Meer in das Innere des Amphitheaters eingetreten und füllt eine kreisförmige Bucht aus. Wir greifen, um ein charakteristisches Beispiel dieser Art von Vulkanen zu geben, weit über unser Gebiet hinaus und zeigen auf den Abbildungen, S. 177, St. Paul, das, gleichwie seine Schwesterinsel Amsterdam, einsam aus dem Indischen Ozean aufragt: unter etwa 39° südlicher Breite und in gerader Linie südlich von der Spitze der vorderindischen Halbinsel liegen diese zwei Vulkane, von denen namentlich St. Paul in prachtvoller Klarheit die geschilderte Bildung besitzt.

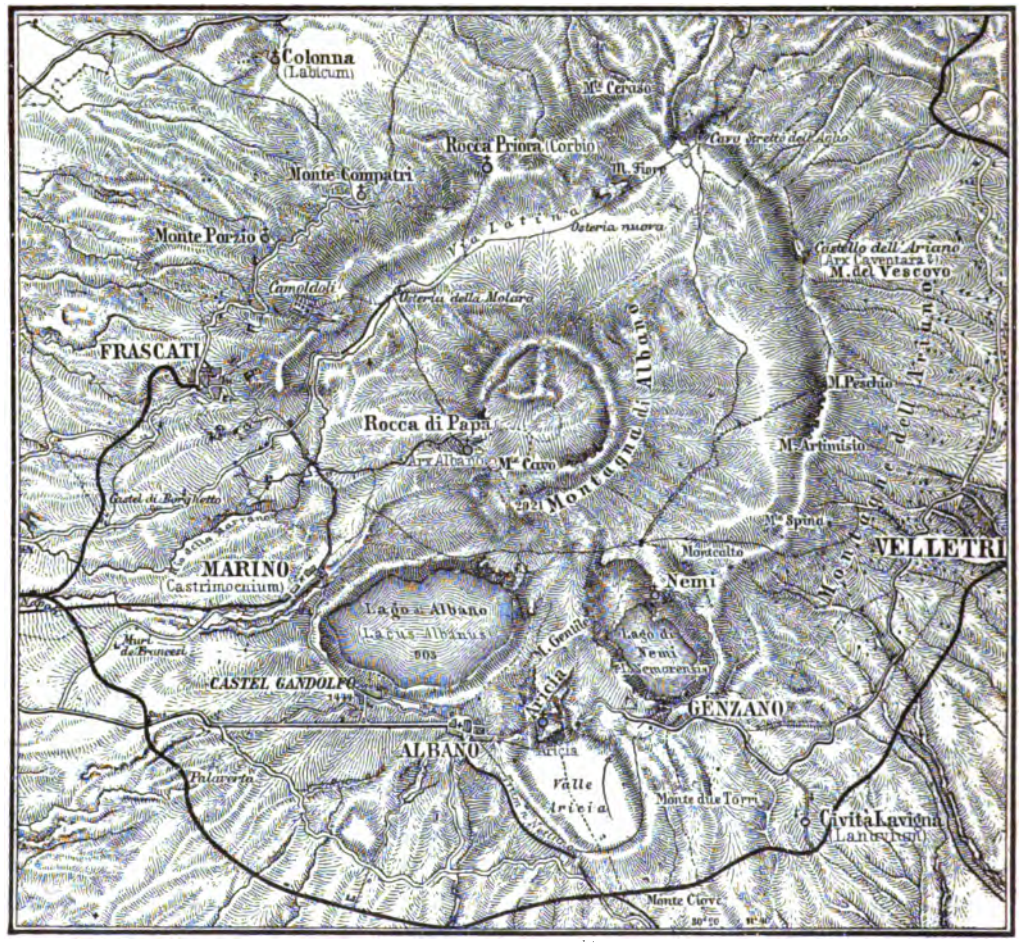
Weiterhin bildet die Insel Ischia eine Fortsetzung der Phlegräischen Felder; auch hier finden nur sehr selten und in jahrhundertelangen Zwischenräumen an wechselnden Punkten Eruptionen statt. In früherer Zeit war Ischia weiter ausgedehnt, es hat viel von seinem Umfang verloren, wie das z. B. eine in der Bucht von Lacco einsam aus dem Meere sich erhebende Tuffpartie erkennen läßt, die wir auf S. 178 abgebildet haben. Der höchste Berg der Insel, der fast 800 m hohe Monte Epomeo, bildete einen großen Zentralvulkan, dessen Kraterwall auf einer Seite vollkommen eingebrochen ist. Er hat offenbar schon vor langer Zeit seine Thätigkeit vollkommen eingestellt, dagegen haben sich an seinen Flanken zahlreiche Adventivkegel gebildet. Einer von diesen, der Monte Rotaro, hat selbst wieder an seinem Fuße einen kleinen sekundären parasitischen Kraterkegel erhalten, den Monte Tabor, aus dem sich ein kleiner Lavastrom bis in das Meer ergossen hat. Die letzte Eruption fand 1302 aus dem Adventivkegel Cremate am Seitengehänge des Epomeo statt und lieferte den großen Lavastrom del Arso, der noch heute, nach fast 600 Jahren, rauh und unfruchtbar mitten in der blühenden Landschaft liegt. Andere Eruptionen fanden, wie berichtet wird, im Jahre 472, dann im Jahre 92 v. Chr. statt; auch werden mehrere aus der Kaiserzeit von Titus bis Diokletian erwähnt. Jetzt erinnern noch mehrere Fumarolen und heiße Quellen an die ehemalige Thätigkeit, und häufige Erdbeben, deren letztes noch in neuem, furchtbarem Andenken steht, suchen als unheimliche Boten unterirdischer Vorgänge die schöne Insel heim.

Die übrigen Vulkane Italiens.

Die Umgebung von Neapel hat uns eine Reihe interessanter Vulkantypen geliefert, welche die Mehrzahl der wichtigeren Vorkommnisse in guten Beispielen repräsentieren. Immerhin wird es notwendig sein, noch etwas weiter zu greifen und auch die übrigen Vulkane Italiens ein wenig ins Auge zu fassen, da sie uns noch in mehrfacher Beziehung Anlaß zu wichtigen und neuen Beobachtungen bieten.

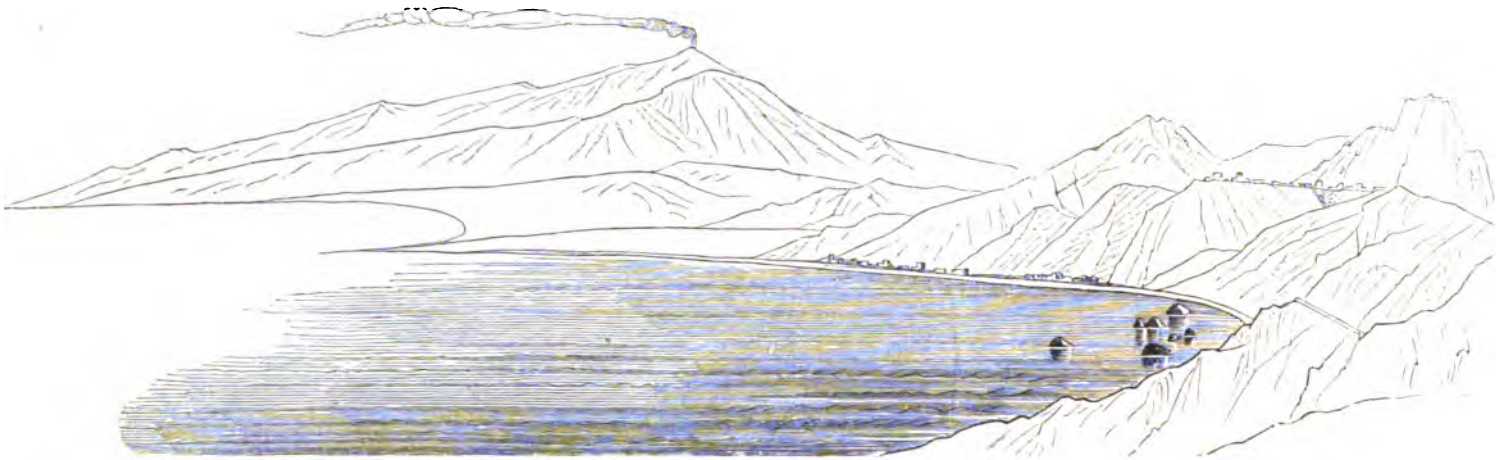
Alle Vulkane der italienischen Halbinsel, die gewiß oder sehr wahrscheinlich noch nach Schluß der Tertiärzeit Ausbrüche gehabt haben, liegen, mit Ausnahme eines einzigen, auf einer geradlinigen Zone, welche der Haupterstreckung der Halbinsel sowohl als der Streichungsrichtung der Apenninen parallel an der Küste des Tyrrhenischen Meeres von Nordwesten nach Südosten verläuft. Der nördlichste Punkt dieser Reihe ist der Monte Amiata bei Radicofani, ungefähr an der Grenze zwischen Toscana und dem ehemaligen Kirchenstaat, ein bedeutender Berg, der große Ströme trachytischer Lava ausgestoßen hat, seinen Krater aber nicht mehr erkennen läßt. Er ist der nördlichste Punkt, aus welchem Laven hervorgegangen sind; allein noch weiter gegen Nordwesten lassen sich die Spuren vulkanischer Thätigkeit in den heißen Quellen und Solfataren Toscanas erkennen, welche bei Volterra und an einigen anderen Punkten auftreten und namentlich durch das reiche Vorkommen von Borsäure in ihren Produkten merkwürdig sind.

In südöstlicher Richtung vom Monte Amiata folgt dann der gewaltige Krater des Bolsener Sees, auf dessen Walle das Städtchen Montefiascone steht, dann die Ciminischen Berge mit einigen Kratern, der See von Bracciano, der ebenfalls in einem vulkanischen Ringbecken liegt, und eine Anzahl ähnlicher, aber kleinerer Vorkommnisse nördlich von Rom; überhaupt enthält die Campagna eine ziemlich große Anzahl kleiner Vulkankegel. Als selbständiges Zentrum ragt im Südosten der ewigen Stadt das bekannteste unter den erloschenen Vulkangebieten Italiens hervor,



Karte des Albanergebirges.

das Albanergebirge (s. obenstehende Abbildung). Diese herrliche Bergoase in der öden Campagna besteht vor allem aus einem Krater von riesigem Durchmesser, aber nicht sehr bedeutender Höhe und wenig steilen Gehängen. Oberhalb Frascati beginnend, zieht sich der etwa 18 km weite Ringwall vom Tuskulaner Berge an Rocca Priora vorbei zum Monte Ceraso, dann zum Monte Vescovo und endet endlich über dem See von Nemi im langgestreckten Monte Artemisio. Dieser weit ausgedehnte Höhenzug bildet keinen vollständigen Ringwall, sondern ist gegen Westen offen, vermutlich eingestürzt, und in dieser Lücke liegen drei kleinere Kraterbecken, von denen zwei, der Albaner- und der Nemisee, noch heute mit Wasser gefüllt sind, während der dritte, der Kessel von Ariccia, wenigstens jetzt trocken liegt. Im Zentrum des großen Ringgebirges steht ein zweiter



Der Ätna im Hintergrunde, im Vordergrunde die aus geschichteten Gesteinen bestehenden Gebirge im Norden desselben. (Nach Sueß.) Vgl. Text, S. 183.

Der Ätna mit seinen parasitischen Kratern. (Nach Sartorius von Waltershausen.) Vgl. Text, S. 184.

innerer Kratergipfel, der sich zu jenem verhält wie der Vesuv zum Monte Somma; dieser zentrale Krater des Albanergebirges ist ebenfalls nach Westen nicht geschlossen; er umfaßt in seinem Inneren eine Ebene, das sogenannte Lager des Hannibal, einen alten Seeboden, der von dem umgebenden Höhenzug in seinem höchsten Punkte, dem 954 m hohen Monte Cavo, um 190 m überragt wird.

Das Albanergebirge hat eine Reihe bedeutender Lavaströme in die Campagna gesendet, von denen die beiden bekanntesten und größten sich bis nahe an Rom vorschieben. Wenn man die Stadt durch die Porta Sebastiana verläßt und die Appische Straße hinausgeht, gelangt man nach einer halben Stunde an das bekannte Grabmal der Cäcilia Metella und die Trümmer der Burg der Gaetani, deren festen Turm das alte Denkmal lange Zeit hindurch bildete. Hier steigt die Straße etwas an und erreicht eine höher gelegene ebene Fläche, deren Rand sich noch weithin als eine Terrasse verfolgen läßt. Man ist hier an das Vorderende, an die Stirn eines gewaltigen Stromes von Leucitlava, gelangt, auf die man an jener Stelle hinansteigt. Ein zweiter Strom erstreckt sich bis zur Acqua Acetosa, 6 km von der Porta Paola. Beide lassen sich bis in die Nähe des Albanergebirges verfolgen, wo sie sich bei Solferata verbinden; doch verschwinden sie weiterhin bald unter der Decke des jüngeren Peperintuffs, der es unmöglich macht, ihren Ursprung aus dem Krater zu beobachten.

Ausbruch aus einem parasitischen Krater des Ätna. (Nach Sartorius von Waltershausen.) Vgl. Text, S. 184.

Einen Ausläufer der eruptiven Bildungen der Campagna von Rom bilden noch die Vulkane des Hernikergebirges in der Nähe von Frosinone, wo acht verschiedene Ausbruchspunkte nachgewiesen werden konnten.

Während die Krater und festen Laven in dem weiten Raume vom Bolsener See bis ins Hernikergebirge trotz ihrer Zahl keinen sehr großen Flächenraum einnehmen, erreichen die Tuffe, welche sich aus den losen Materialien der Ausbrüche gebildet haben, eine kolossale Verbreitung; sie bilden eine verhältnismäßig wenig unterbrochene Decke über die ganze Campagna von Rom.

Südlich vom Gebiet des Hernikergebirges hört jede Spur von Eruptivbildungen für eine kurze Strecke auf, dann folgt nach Südosten die schon früher erwähnte Rocca Monfina, hierauf die Phlegräischen Felder, endlich der Vesuv, das letzte Glied dieser langen Vulkanreihe, das einzige, das noch heute in Thätigkeit ist. Dann bricht die Kette plötzlich ab; wie ein Riegel schiebt sich das vom Hauptkamm der Apenninen quer abzweigende Kalkgebirge von Sorrento, der Bergzug des

Monte Sant' Angelo, vor. Von da bis zur äußersten Spitze Kalabriens ist keine Spur junger Eruptionen zu bemerken.

Diese lange Vulkanreihe begleitet, wie erwähnt, die Kette der Apenninen und liegt außerhalb ihres Bereiches; sie steht an der steil abgebrochenen Seite des Gebirges, welches sich nach der vulkanlosen Nordostküste der Halbinsel regelmäßiger und sanfter abdacht. Daß sich Vulkanreihen gern auf der Seite eines Kettengebirges zeigen, welche steiler abstürzt, ist eine Beobachtung, die sehr häufig wiederkehrt, und deren Bedeutung wir noch näher kennen lernen werden.

Der Ätnakrater in den Jahren 1804 u. 1805. (Nach Sartorius von Waltershausen.) Vgl. Text, S. 184.

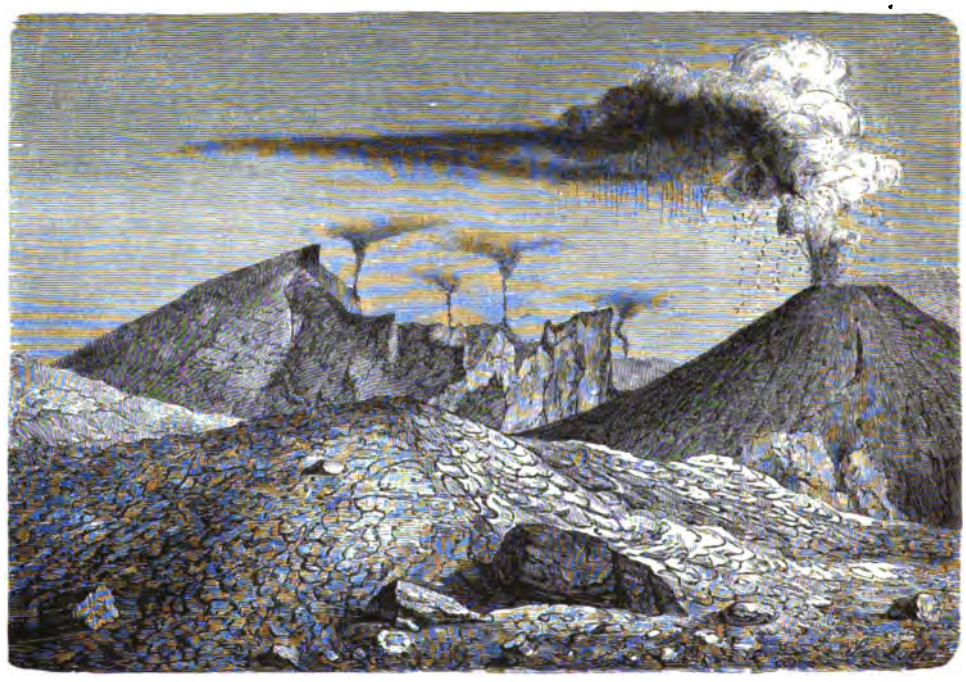
Der Ätnakrater in den Jahren 1805—1809. (Nach Sartorius von Waltershausen.) Vgl. Text, S. 184.

Im vollsten Gegensatz dazu stellt sich uns jedoch ein erloschener Vulkan des italienischen Festlandes dar, der Vultur bei Melfi, welcher gerade östlich vom Vesuv schon jenseit des Kammes der Apenninen steht; wir werden später den Unterschied seiner geologischen Stellung gegen die der übrigen italienischen Vulkane kennen lernen, hier mag es genügen, darauf aufmerksam zu machen, daß an dieser Stelle ein gewaltiger erloschener Vulkan steht, höher als der Vesuv (1329 m), mit einem großen, kreisrunden Krater, in dessen Mitte jetzt zwei kleine Seen liegen.

Ein ganz anderes Bild als die erloschenen Feuerberge des Festlandes bieten uns die Inselvulkane Italiens. In erster Linie tritt uns auf Sizilien der Ätna entgegen, ein gewaltiger Riese von 3313 m Höhe. Zwischen Sizilien und der tunesischen Küste liegen Pantellaria und die versunkene Insel Ferdinandea, nördlich vom Ätna stehen die noch thätigen Liparen, und noch weiter nördlich liegen endlich die Ponzainseln vor dem Golf von Gaeta, westlich von den Phlegräischen Feldern.

Wir wenden uns vor allen anderen dem Ätna zu, dem größten Vulkan Europas und dem höchsten Berg Italiens (s. die obere Abbildung, S. 181). Rings umgeben von sedimentären Gesteinen,

nehmen seine Aufschüttungen ein gewaltiges Areal mit einem Umfang von etwa 130 km ein. Wie am Vesuv, sehen wir auch hier einen Vulkan vor uns, der seit vielen Jahrtausenden an derselben Stelle seine Ausbrüche gehabt hat oder wenigstens nur eine unbedeutende Verschiebung seiner Achse erkennen läßt. Ein sehr auffallender Unterschied gegen den Vesuv tritt jedoch am Ätna sofort jedem Besucher entgegen: der thätige Hauptkrater am Gipfel entsendet zwar Dampf, Bomben, Asche, aber namentlich in neuerer Zeit fast nie Lava. Wenn diese im Inneren des Berges aufsteigt, so ist der Seitendruck der gewaltigen Säule geschmolzenen Gesteins ein so kolossaler, daß die Flanken des Berges ihm nicht zu widerstehen im stande sind; noch ehe die Lava bis zum Gipfel hinaufgelangt, bildet sich bald höher, bald tiefer an der Seite des Berges eine Spalte, aus welcher nun die Lava ausströmt, indem sie um die Bocca herum einen „parasi-



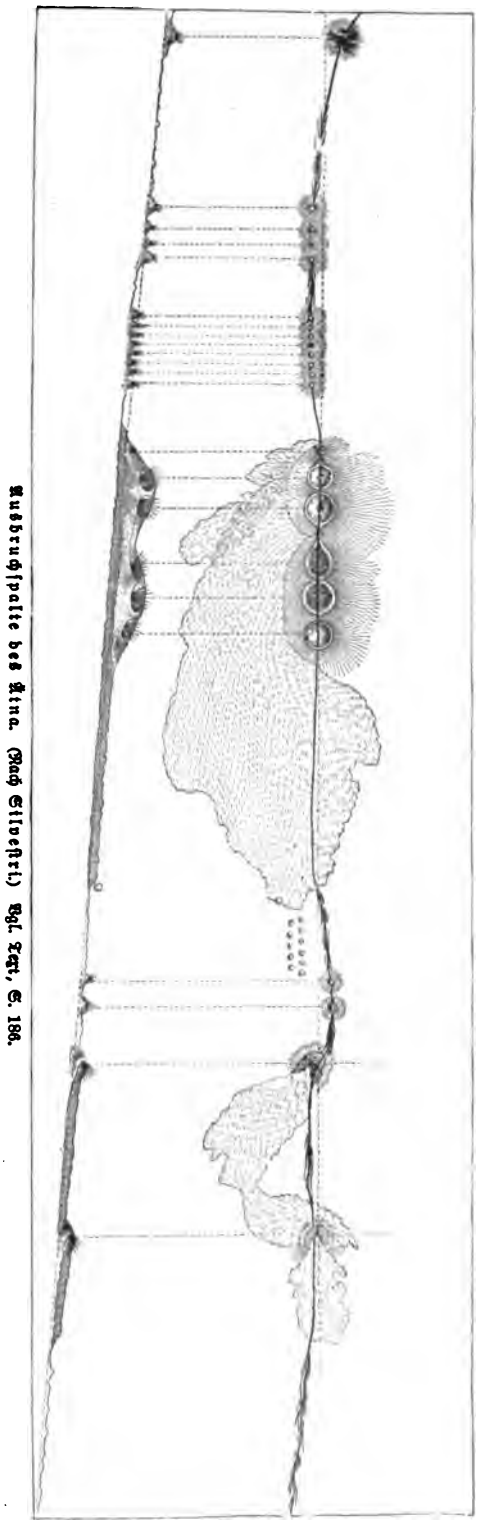
Der Ätnakrater im Jahre 1838. (Nach Sartorius von Waltershausen.)

tischen Krater" (s. Abbildung, S. 182) aufwirft, der selbst wieder für sich einen ganz bedeutenden Berg bilden kann. So haben die Monti Rossi bei Nicolosi, aus welchen die Lava der furchtbaren Eruption von 1669 hervorbrach, eine Höhe von über 250 m über ihrer Umgebung. Da nun fast jeder größere Ausbruch seine eigne Bocca bildet, so kommt es, daß der Berg etwa 900 solcher parasitischer Krater an seinen Seiten trägt (s. die untere Abbildung, S. 181).

Anfangs steigt der Ätna sehr langsam und allmählich an; dann beginnt eine etwas stärkere Neigung, der Berg erhebt sich in Form eines stark abgestumpften Kegels, der die Reste eines alten eingestürzten Kraters, einer Art Somma, zeigt. Eine ziemlich ebene Terrasse schließt sich hier an, der Piano del Lago, auf welchem die ehemalige Unterkunftshütte für die Ätnabesteiger, die Casa inglese, stand, und darüber erhebt sich der jetzige Gipfelkrater. Das Innere desselben ist fortwährenden Veränderungen unterworfen; die Abbildungen auf S. 183 und die obenstehende zeigen uns den Zustand desselben in drei aufeinander folgenden Phasen aus dem Anfang unseres Jahrhunderts.

Einen der merkwürdigſten Züge des Ätna bildet die gewaltige Thalſchlucht, das Valle del Bove, welches von Oſten her tief ins Innere des Berges einſchneidet; ſchroffe Felswände umſchließen zu beiden Seiten dieſe öde Wildnis, die außer von einigen Hirten mit ihren Herden nur ſelten betreten wird. Dieſes merkwürdige Thal hat den Geologen, welche ſeine Entſtehung zu erklären ſuchten, viele Schwierigkeiten bereitet. Die einen ſahen darin eine Art von Erhebungskrater, andere eine Spalte, die bei einem Ausbruch entſtanden und dann durch die auswaſchende Thätigkeit des Waſſers erweitert worden ſei, und noch manche Deutungsverſuche wurden gemacht. Das wahrſcheinlich richtige Verſtändnis knüpft ſich an die Arbeiten von Sartorius von Waltershauſen und von Gemmellaro, welche gezeigt haben, daß im Valle del Bove ein älteres Eruptionszentrum nachweisbar iſt; die älteren Lava- und Tuffſchichten fallen alle von einem Punkte im Valle del Bove ab, von dem ſogenannten Trifolietto, und nach dieſem Punkte konvergieren die älteren Lavagänge, während die jüngeren Laven und Tuffe deutlich auf den jetzigen Krater hinweiſen, den die jüngeren Gänge zum Mittelpunkt haben. Wir müſſen alſo annehmen, daß in früherer Zeit ein Krater ähnlich dem jetzigen ſich ſüdöſtlich von dieſem über dem Trifolietto erhob. Infolge einer beſonders heftigen Eruption wurde eine tiefe Spalte in der Richtung des jetzigen Valle del Bove gebildet, das Eruptionszentrum weiter gegen Nordweſten verlegt, in die Gegend des modernen Kraters, die Spalte aber durch den Einſturz des alten Kraters und nachherige exploſive Ausräumung desſelben zum jetzigen Valle del Bove erweitert.

Der Ätna ſcheint ſeit unvordenklicher Zeit ein thätiger Vulkan zu ſein, an welchem mächtige Ausbrüche im Durchſchnitt alle zehn Jahre wiederkehren, während in der Zwiſchenzeit verhältnismäßig tiefe Ruhe herrſcht. Wohl die heftigſte Eruption, die wir kennen, iſt die vom Jahre 1669, bei welcher ſich die bei Nicoloſi gelegenen Kegel der Monti Roſſi bildeten. Sie dauerte 3½ Monate, der Gipfel des Ätna ſtürzte ein, und ſeine



Ausbruchſpalte des Ätna. (Nach Silvestri.) Vgl. Text, S. 186.

Flanke wurde durch eine riesige Spalte von 18 km Länge aufgerissen, an deren unterem Ende die Lava ausbrach und die Monti Rossi entstanden; der austretende Strom bedeckte eine Fläche von etwa 50 qkm, zerstörte zwölf Ortschaften ganz oder zum Teil, dazu die größere Hälfte der Stadt Catania, und schob sich noch einige hundert Meter weit ins Meer vor.

Eine ähnliche, wenn auch kleinere Spalte, welche einem der jüngsten Ausbrüche angehört, zeigt die Abbildung auf S. 185. Die obere der beiden Zeichnungen stellt die Verhältnisse in Form einer Karte dar; die Spalte ist durch die kräftige schwarze Linie angegeben. Auf derselben stehen 23 parasitische Krater, aus welchen vier Lavaströme hervorgingen. Die untere Zeichnung veranschaulicht dieselben Objekte, im Profil gesehen.

Auf dem vielfach heimgesuchten Südabhang haben sich in der Nähe von Nicolosi auch die beiden jüngsten Eruptionen des Ätna abgespielt. Die Spalte, welche im Jahre 1886 den Monte Gemmellaro schuf, wurde am 8. Juli 1892 nach Erschütterungen und unter vermehrter Thätigkeit des Gipfelkraters weiter nach Norden zu abermals aufgerissen. Unter heftigen Paroxysmen fixierten sich am folgenden Tage drei, dann eine vierte Auswurfstelle, durch deren Auswürflinge vier parasitische Kegel aufgehäuft wurden. Lava ergoß sich vornehmlich aus dem unteren Teil der Spalte. Nach einer zeitweiligen Abschwächung der vulkanischen Thätigkeit trat im August wieder eine Steigerung derselben ein und es entstanden zwei neue Adventivkegel. Diese übernahmen nun die vulkanischen Äußerungen, während die älteren Kegel (zu Ehren des verstorbenen Ätnaforschers Silvestri „Monti Silvestri" benannt), mit Ausnahme des zuletzt gebildeten, ihre Thätigkeit fast gänzlich einstellten. Die Eruption dauerte über fünf Monate, länger, als es sonst am Ätna Regel ist.

Über die Insel Pantellaria südlich von Sizilien ist verhältnismäßig wenig zu sagen. Sie zeigt an zehn kleinere Krater, welche in historischer Zeit keine Ausbrüche gehabt haben, aber teilweise noch in lebhafter Solfataren-Thätigkeit stehen. Um so größeres Interesse bieten die submarinen Eruptionen dieser Gegend. Zwischen Pantellaria und Sizilien befindet sich jetzt eine Untiefe im Meere, wo vor dem Jahre 1831 das Senkblei bei 100 Faden keinen Grund gefunden hatte. In der Zwischenzeit hat daselbst für wenige Monate eine untermeerische Eruption eine Insel aufgeworfen, die kurz nach ihrer Entstehung von den Wogen wieder zerstört wurde. Am 28. Juni 1831 passierte ein englisches Schiff die unter 37° 2′ nördlicher Breite und 30° 16′ östlicher Länge von Ferro gelegene Stelle und fühlte im offenen Meere heftige Stöße, als ob es an einer Sandbank festgefahren wäre. Am 8. Juli kam eine sizilische Brigantine dort vorbei, und ihr Kapitän bemerkte, daß eine Wassermasse 60 Fuß hoch über den Meeresspiegel emporgeschleudert wurde; 10 Minuten lang sprudelte das Wasser empor und sank dann wieder zurück, und eine dichte Rauchwolke entwickelte sich unter heftigem Getöse; etwa alle 15—30 Minuten wiederholte sich die Eruption. Am 10. Juli berichtet ein anderer sizilischer Schiffsführer, daß er eine Wassermasse 60 Fuß hoch und 800 Ellen im Umfang sich aus dem Meer erheben sah; dann stieg eine Dampfsäule etwa 1800 Fuß hoch empor. Am 12. Juli bemerkte man bei Sciacca an der sizilischen Küste, daß vulkanische Auswurfsprodukte und tote Fische angeschwemmt wurden, und am 13. Juli sah man eine Rauchsäule, die nachts hell leuchtete. Am 18. August kam jenes sizilische Schiff wieder an die Stelle und fand eine kleine Insel, 12 Fuß über den Meeresspiegel hervorragend, mit einem Krater in ihrer Mitte, der lose Auswürflinge und eine gewaltige Dampfwolke ausstieß.

Am 20. Juli trafen vier deutsche Geologen bei der neuen Insel ein, welche den Namen Ferdinandea[1] erhalten hatte; es waren Philippi, Hofmann, Escher von der Linth und

[1] Auch Insel Julia, Graham-, Hotham-, Corrao- oder Nerita-Insel genannt.

Schulz. „Als sie in die Nähe der Insel kamen, sahen sie, daß dieselbe aus dem Rande eines Kraters bestand, der noch fortwährend Schlacken auswarf; geräuschlos stiegen, zu mächtigen Kugeln geballt, Dämpfe, weiß wie frische Baumwolle, auf, welche zusammen eine wohl 2000 Fuß hohe Säule bildeten. Alle 2—3 Minuten fuhren dunkle Schlacken durch die weiße Rauchmasse blitzschnell hindurch; plötzlich folgte aber ein so dichter Auswurf von Schlacken, daß diese eine 600 Fuß hohe Säule zu bilden schienen, die sich am oberen Ende garbenförmig ausbreitete. Die emporgeschleuderten Steine waren ganz schwarz, nur zuweilen zuckten helle Blitze durch, welche sich nach allen Richtungen verbreiteten. Diese Eruption war von keinem Getöse begleitet, man vernahm nur das Rasseln der zusammentreffenden und auf den Kraterring niederfallenden Schlacken; dieser Ausbruch dauerte etwa 8—10 Minuten ununterbrochen. Um diese Zeit schien die Insel auf der östlichen Seite am höchsten, etwa 60 Fuß hoch, und hatte einen Durchmesser von 800 Fuß." (C. Fuchs.)

Am 2. August nahmen die Engländer von der Insel Besitz; späterhin folgten mehrfache Besuche. Zur Zeit ihrer größten Entwickelung hatte die Insel einen Umfang von etwas über 2000 Fuß und eine Höhe von 200 Fuß; sie stieg sehr steil vom Grunde empor, denn ganz in ihrer Nähe fand man eine Meerestiefe von 700 Fuß. Die Nordostseite des Kraters war eingestürzt und dieser von Wasser erfüllt, das in beständig siedender Bewegung war. Die Macht der Eruption hatte schon sehr abgenommen, bereits seit dem 12. August hatte man die Rauchsäule von der sizilischen Küste aus nicht mehr gesehen. Die ganze Insel bestand aus sehr losem Material, Schlacken, Sand, Asche ꝛc., nur wenige Stücke hatten mehr als 1 Fuß im Durchmesser; durch die Aufschüttung waren diese Materialien geschichtet und zwar in der bekannten und charakteristischen Weise, daß die Bänke im äußeren Teil allseits gegen das Meer einfielen, innerhalb des Kraterwalles aber gegen die Bocca.

Bei ihrer außerordentlich geringen Konsistenz konnten diese losen Massen dem Anprall des brandenden Meeres nur wenig Widerstand entgegensetzen; schon Ende Oktober war der Krater verschwunden, die Insel ragte kaum mehr über den Meeresspiegel empor, nur an einer Stelle war ein kleiner Hügel von Sand und Schlacken vorhanden; gegen Ende des Jahres war alles verschwunden, ja es wird berichtet, daß an Stelle der Insel schon um diese Zeit eine Tiefe von 24 Faden vorhanden gewesen sei. Doch scheint diese Angabe unrichtig zu sein und sich hier bis gegen Ende 1833 eine den Schiffen gefährliche Untiefe erhalten zu haben; dunkler vulkanischer Grund war unter dem seichten Wasser zu sehen. Auch dies ist längst nicht mehr vorhanden. Ist damit die Geschichte dieser ephemeren Insel abgeschlossen, oder war es nur der erste Akt einer größeren vulkanischen Entwickelung, die noch folgen und eine definitive Insel bilden wird? Wir wissen es nicht, wenn auch das letztere ziemlich wahrscheinlich ist; der erste Beginn der Bildung jener großen Menge von vulkanischen Inseln und Inselgruppen, wie wir sie in allen Meeren kennen, muß einen ähnlichen Verlauf gehabt haben, wie ihn uns die Insel Ferdinandea kennen gelehrt hat. Aber auch abgesehen von Ferdinandea, sind an der Südküste von Sizilien noch Punkte, an welchen submarine Ausbrüche vorkommen; ein solcher wurde in der Nacht vom 4. auf den 5. Oktober 1846 vor Siculiana bei Girgenti beobachtet, ein anderer am 18. Juni 1845 etwas weiter gegen Südosten unter 36° 40′ 56″ nördlicher Breite und 13° 44′ 36″ östlicher Länge von Greenwich, und endlich ist hier noch der sehr interessante submarine Ausbruch zu nennen, welcher sich am 17. Oktober 1891 5 km nordwestlich von Pantellaria ereignet hat.

Da wir nur wenig verläßliche Beschreibungen von submarinen Ausbrüchen besitzen, müssen wir es als besonders günstigen Umstand bezeichnen, daß ein ausgezeichneter Fachmann, Professor Riccò, diesem merkwürdigen Ereignis wenigstens in einzelnen Phasen beigewohnt und eine genaue Darstellung desselben gegeben hat. Das Wiedererwachen der vulkanischen Kraft kündigte

sich durch ein starkes Erdbeben im südöstlichen Teil der Insel am 24. und 25. Mai 1890 an. Die Fumarolen vermehrten und verstärkten sich, in den alten Kratern stieg die Temperatur dermaßen, daß die üppigen Feigenbäume und Weinstöcke daselbst verdorrten. Gegen 40 Zisternen wurden aufgerissen, und an 15 aufeinander folgenden Tagen vollzog sich eine kleine Hebung der nordöstlichen Küste der Insel.

Ein zweites Beben folgte im Juni, dieses wurde aber in der Ortschaft Pantellaria am nordwestlichen Ende der Insel nicht gespürt. Um so stärker machte sich hier ein weiteres Beben am 14. Oktober 1891 und zehn folgenden Tagen geltend. Die Stöße waren vorwiegend sukkussorisch, von unten nach oben gerichtet, und nur der sehr soliden Bauart der Häuser ist es zuzuschreiben, daß der Schade gering war. Mehrere Quellen versiegten am 14. Oktober bei Beginn der Erschütterungen und kehrten am 17. Oktober wieder, an demselben Tage, an welchem die submarine Eruption eintrat. Rauch- und Dampfsäulen stiegen unter andauernden Detonationen aus dem heftig bewegten, in die Höhe geschleuderten Meere, die Beben dagegen verloren an Intensität. Tags darauf wurde die Länge der nach Nordosten gerichteten Eruptionszone zu 830 m gefunden und auf der Oberfläche des Meeres sah man zahllose schwarze Bomben umhertreiben, welche Dampf ausstießen und unter starkem Knallen und Verbreitung von Schwefelgeruch explodierten. Hierbei wurden die Trümmer 15—20 m hoch geschleudert und Wasser und Dampf mitgerissen. Beim Niederfallen versanken sie im Meere, dessen Temperatur an der Eruptionsstelle um $1^1/_2{}^0$ erhöht war. Andere Bomben versanken, ohne zu explodieren. In der folgenden Nacht wurde in der Dampfwolke über der Eruptionsstelle ein Feuerschein gesehen, die Intensität des Ausbruches nahm aber langsam ab, und am 23. Oktober konnte Riccò auf dem Meeresspiegel nur etwa 500 Bomben zählen. Die Temperatur des Meerwassers war nicht mehr erhöht, und die Eruptionszone war auf 200 m Länge und 50 m Breite beschränkt. Auch die Detonationen hatten bis auf einzelne dumpfe Töne aufgehört, nur die platzenden Bomben verursachten ein Getöse wie bei einem Gefecht. Die Hauptausbruchstelle lag bei diesem allmählichen Ausklingen des Paroxysmus am nordöstlichen Ende der Eruptivzone, während früher an drei weiter westlich gelegenen Punkten die stärkste Thätigkeit geherrscht hatte. Am 26. Oktober war das Meer vollkommen still, der Ausbruch beendet.

Vielleicht die sinnfälligste, aber nicht die wichtigste Erscheinung bei dieser Eruption war das Spiel der Bomben auf der Meeresfläche. Die Bomben hatten innen eine Temperatur von mindestens 415^0, denn Zinkdraht wurde darin sofort geschmolzen, nicht aber Messingdraht. Sie waren porös, fast bimssteinartig, ihr spezifisches Gewicht war aber samt der eingeschlossenen Luft höher als das des Meerwassers, nämlich 1,5. Offenbar gelangten die Bomben nicht durch die Energie, welche ihnen durch die vulkanischen Explosionen verliehen wurde, an die Oberfläche, sondern sie wurden durch den Druck des im Inneren eingeschlossenen Dampfes nach aufwärts getrieben. Riccò stellt den Vorgang folgendermaßen dar: Beim Austritt der Schlackenfetzen aus dem Schlunde mußte durch ihre Drehungen Wasser in die geschmolzene Masse gelangen, welches den sogenannten sphäroidalen Zustand annahm, d. h. es konnte trotz hoher Temperatur nicht verdunsten. Weiter oben kühlten sich die Bomben ab, und nunmehr verdunstete das aufgenommene Wasser und ermöglichte den weiteren Auftrieb der Bomben. Solange der hydrostatische Druck ein bedeutender war, konnte ein Bersten der Bomben nicht erfolgen, nahe der Oberfläche aber und vollends auf dieser selbst mußte infolge des plötzlichen Nachlassens des Druckes ein Explodieren der Bomben eintreten.

Vor dem Ausbruch war in der Eruptionsregion eine Tiefe von 160 m gemessen. Dagegen ergab eine nachher, aber mit sehr mangelhaften Instrumenten durchgeführte Lotung die Tiefe von 320 m. Die Annahme einer explosiven Ausräumung der fehlenden Masse liegt nahe, hat

aber wenig innere Wahrscheinlichkeit, denn die Intensität der Paroxysmen war keine übermäßige, und auch der Mangel von Zerstäubungsprodukten, namentlich Bimsstein, spricht nicht für eine besonders heftige Thätigkeit, mit welcher sonst eine Ausweitung und Vertiefung des Kraterbodens verbunden zu sein pflegt. Wahrscheinlich war die spätere Messung fehlerhaft.

Wichtiger und interessanter als die eigentlichen Ausbruchserscheinungen sind gewisse der Eruption vorangegangene Veränderungen auf der Insel Pantellaria. Ein 10 km langer Küstenstrich auf der Nordostseite der Insel, von Punta Caruscia bis Punta Tracino, welcher schon bei dem Beben des Jahres 1890 eine leichte Hebung erfahren hatte, wurde neuerdings, und zwar vom 14. auf den 15. Oktober, in ein höheres Niveau gebracht, so daß der Gesamtbetrag der Hebung auf 0,8 m anstieg. Zwei weiße, von littoralen Serpulen, Balanen, Mytilen, Patellen, Lithodomen ꝛc. herrührende und vom schwarzen vulkanischen Gestein grell abstechende Inkrustationsstreifen über dem Meeresspiegel sowie Klippen, die früher unter Wasser waren, jetzt aber frei aufragen, bekunden auf das deutlichste die vollzogene Hebung. Südlich von der Punta Caruscia entstand eine Spalte, welche 300 m weit namentlich im Felsboden vorzüglich kenntlich und 82—45 m von der gehobenen Küste entfernt war. Auch bei dem als Bad benutzten Kratersee war eine Spalte entstanden, und die Fumarolen zeigten vermehrte Thätigkeit. In der Nähe der Spalten und des Küstenstriches wurde das Beben stärker gespürt als an anderen Stellen.

Wir haben hier ein Beispiel einer Hebung durch vulkanische Kräfte vor uns, so klar und unanfechtbar wie wohl kein zweites. Leider ist es uns nicht bekannt, in welche Tiefe der Sitz der vulkanischen Kraft zu verlegen sei, es würden sonst die wichtigsten Bedingungen gegeben sein, um die enorme Arbeit, die hier geleistet wurde, ziffermäßig festzustellen.

Die nach Nordosten streichende Eruptivzone des beschriebenen submarinen Ausbruchs fällt mit der vulkanischen Hauptspalte Pantellaria-Ferdinandea-Sciacca (Sizilien) zusammen. Wie wir gesehen haben, fand während der Eruption eine Verlegung des Ausbruchszentrums auf der Hauptspalte in der Richtung gegen Nordosten statt. Die Vulkane der von Südosten gegen Nordwesten gestreckten Insel Pantellaria liegen dagegen auf einer Querspalte und die Erscheinungen des Jahres 1890, die Beben am Südostende der Insel, die Temperaturerhöhung in den alten Kratern und die Hebung der Küste parallel zur Querspalte beweisen unzweifelhaft den Versuch des vulkanischen Magmas, die alten Ausführungswege der Querspalte zu eröffnen. Dieser Versuch blieb vorerst fruchtlos, im folgenden Jahre aber wurde eine Verlegung der Eruptionsbewegung längs der Querspalte gegen Nordwesten unter neuerlicher Hebung der Küstenzone vorgenommen, und dies hatte das vulkanische Beben am Nordwestende der Insel und eine submarine Eruption an der Stelle zur Folge, wo Quer- und Hauptspalte zur Kreuzung kommen.

Man kennt noch zahlreiche Beispiele von Inseln, die sich durch vulkanische Thätigkeit unter den Augen der Menschen gebildet haben und teils erhalten geblieben, teils durch die Brandung des Meeres wieder zerstört worden sind. Außer den Erscheinungen unter den Liparen, von Santorin im Griechischen Archipel und in der Umgebung der Japanischen Inseln, von denen später noch die Rede sein wird, sind hier namentlich mehrfache Inselbildungen in der Gruppe der Azoren zu erwähnen, die in den Jahren 1638, 1720, 1757 und 1811 stattfanden, ohne daß ein bleibendes Resultat erzielt worden wäre. Ebenso verhält es sich an der Küste von Island; hier befindet sich bei Kap Rejkianäs an der südwestlichen Spitze des Landes ein sehr thätiger submariner Vulkan, von dem schon 13 Ausbrüche bekannt sind. Derselbe bildete im Jahre 1240 mehrere kleine Inseln, die bald wieder verschwanden, und auch eine größere Insel mit einigen Bergen, die im Jahre 1783 hier aufgeschüttet wurde, hatte kaum mehr als ein Jahr Bestand.

Bemerkenswert sind die Schicksale der Insel Joanna Boguslawska in der Kette der Aleuten. In den ersten Tagen des Mai 1796 zeigte sich nahe der Insel Umnak eine mächtige

Rauchsäule, die umliegenden Inseln wurden von Erdbeben erschüttert, und unterirdisches Gebrüll ließ sich vernehmen; es bildete sich allmählich ein kleiner Vulkan, der Schlacken auswarf und sich im Verlauf eines Monats durch fortdauernde Ausbrüche vergrößerte. Die Heftigkeit ließ nun nach, aber Rauch und Steine wurden noch immer ausgestoßen, und die Insel wuchs fortwährend an. Erst nach 8 Jahren gelang es, den Ort zu besuchen, aber noch war der Boden so warm, daß es nicht möglich war, zu landen. Immerwährend dauerten die Ausbrüche fort, und im Jahre 1806 hatte die neue Insel Joanna Boguslawska einen Umfang von $2^1/_2$ Meilen und eine Höhe von 300 Fuß, im Jahre 1819: 4 geographische Meilen im Umfang und eine Höhe von 2000 Fuß; um 1823 ließen die Eruptionen nach, und der Umfang verminderte sich nun rasch, so daß er 1832 nur noch 2 Meilen betrug. Die Zerstörung der Insel machte in der Folge weitere Fortschritte, bis im September und Oktober des Jahres 1883, zu derselben Zeit, als auch die Aleuteninsel Augustin einen Ausbruch hatte, in der Nähe von Joanna Boguslawska neuerdings Eruptionen erfolgten, welche die Bildung einer neuen, viel größeren Insel bewirkten. Im August 1884 war der neue, nach dem Geologen Grewingk benannte Vulkan über 120 m hoch und mit Boguslawska durch eine schmale, niedrige Landzunge verbunden. Die Höhe der Insel Boguslawska war trotz der bedeutenden Verringerung des Umfanges dieselbe geblieben, wie ursprünglich, ungefähr 300 Fuß. Im Februar 1890 ereigneten sich abermals Ausbrüche in der Umgebung dieses Eilandes, es wurden hierdurch drei kleine Inseln von angeblich mehr als 300 m Höhe in unmittelbarer Nähe der Boguslawska gebildet.

Das Gebiet nördlich von Neuseeland ist ebenfalls durch vulkanische Neubildungen ausgezeichnet. Im Jahre 1825 soll hier eine Insel entstanden sein, und im Jahre 1885 wurde die noch weiter unten zu besprechende Falkeninsel aufgeschüttet.

Es mögen bei dieser Gelegenheit einige Bemerkungen über unterseeische, fern vom Festland und vulkanischen Inseln gelegene Vulkane Platz finden. Ob derartige Ausbruchsstellen am Boden der Tiefsee überhaupt existieren, wie sie verteilt und in welcher Weise sie thätig sind, dies alles sind Fragen von großer Wichtigkeit, aber leider sind unsere Kenntnisse darüber aus naheliegenden Gründen äußerst dürftig. Man hat früher an einer Stelle im Atlantischen Ozean unter 20—22° westlicher Länge und etwa $^1/_2$° südlich vom Gleicher einen solchen Vulkan vorausgesetzt, dies hat sich aber, wie Rudolph gezeigt hat, als irrtümlich erwiesen, bestimmte Nachrichten liegen nur über Eruptionen in der durch eine tiefe Senke von jener Stelle geschiedenen Umgebung des St. Paul-Felsens vor. Indessen ist es E. Rudolph durch eine genaue Sichtung eines reichen, von Schiffen gelieferten Nachrichtenmaterials gelungen, zu zeigen, daß in der That mitten in den ozeanischen Becken submarine Ausbrüche vorkommen, welche sich zuweilen durch Aufkochen des Wassers, Temperaturerhöhung desselben, Auswerfen von Wassersäulen, stets aber durch heftige Flutwellen kenntlich machen, die häufig als Erdbeben-Flutwellen bezeichnet werden und sich bis zu den fernsten Küsten erstrecken. Die unterseeische vulkanische Thätigkeit scheint in ihrer Äußerung von der der benachbarten Festländer gänzlich unabhängig zu sein. Wie sich die Verhältnisse am Boden der Tiefsee selbst gestalten, entzieht sich natürlich unserer Beurteilung, ebenso haben wir keine sicheren Anhaltspunkte über die Masse des in diesen Regionen geförderten Materials. Der Reichtum der Grundproben der Tiefsee an Teilchen vulkanischen Ursprungs läßt vermuten, daß ein Bruchteil derselben den submarinen Vulkanen entnommen ist.

Wir kehren zu unserem Ausgangspunkt zurück, zu den italienischen Inselvulkanen. Nördlich von Sizilien liegt eine sehr wichtige Gruppe von vulkanischen Inseln, die Liparen. Sieben größere Inseln sind in der Weise angeordnet, daß sie auf drei vom Zentrum der Gruppe ausstrahlenden geraden Linien stehen; eine Linie nach Westen trägt Salina, Felicudi und Alicudi, nach Süden sind Lipari und Volcano nebst Volcanello angereiht, und eine Fortsetzung zeigt sich

in einer am Kap Calava auf Sizilien auftretenden Fumarole, während Panaria und Stromboli mit Stromboluzzo in nordöstlicher Richtung stehen. Wir haben schon mehrfach angedeutet, daß reihenförmig angeordnete Vulkane aller Wahrscheinlichkeit nach mit in die Tiefe setzenden Spalten der Erdrinde im Zusammenhang stehen, und wir hätten dann hier in der Mitte der Liparen ein Zentrum, von dem aus radiale Sprünge nach verschiedenen Richtungen ausgehen.

Das wichtigste Glied dieser Inselgruppe bildet der Stromboli, ein fortwährend thätiger Vulkan von einem Charakter, den wir bisher noch nicht kennen gelernt haben. Aus frühem Altertum sind uns Berichte überliefert, aus welchen hervorgeht, daß der Berg in der Zeit von vielleicht 3000 Jahren seinen Charakter nicht wesentlich geändert hat; er befindet sich in ununterbrochen periodischer Thätigkeit, ohne Unterlaß, aber auch ohne heftige Paroxysmen. Sein regelmäßiger, mit einer leichten Rauchwolke gekrönter Kegel, ist wohl jedem bekannt, der die Fahrt von Neapel nach Palermo oder Messina gemacht hat. Der Berg hat eine Höhe von etwa 900 m (die vorliegenden Angaben schwanken zwischen 853 und 979 m), und ungefähr 300 m unter der Spitze befindet sich eine kreisförmige Vertiefung, der Krater. Lange Zeit hindurch lag der schwarze schlackige Kraterboden etwa 100 m unter dem Kraterrand, erst im Jahre 1889 ist hierin eine Änderung eingetreten, welche wir weiter unten besprechen werden. Die vulkanische Thätigkeit äußert sich in besonderen Öffnungen im Kraterboden, sogenannten Bocche, deren Zahl und Stellung wechselt. Bisweilen ist nur eine sichtbar, dann wieder mehrere, selbst 6—7. Aus einzelnen tritt nur Dampf aus, unter laut schnaubendem Geräusch, wie von einer Lokomotive, in anderen wallt geschmolzene Lava und fließt wohl auch bei günstiger Lage der Öffnung gelegentlich auf den Kraterboden aus. Am merkwürdigsten ist aber die dritte Kategorie von Öffnungen, welche Lava in viskosem, halbflüssigem Zustand enthalten. Von Zeit zu Zeit bläht sich deren Oberfläche langsam auf, bis sie unter Entbindung einer gewaltigen Dampfmasse platzt. Der Dampf reißt bei seinem Austritt glühende Lavafetzen und Schlackenstücke mit und schießt sie einige hundert Fuß hoch in die Luft. Nach vollzogenem Ausbruch sammelt sich der Dampf von neuem an, und die Lava hebt sich abermals, bis die wachsende Spannung des Dampfes einen neuen Ausbruch hervorruft. Die Thätigkeit ist also eine rhythmische, wenn auch nicht so regelmäßige, wie vordem angenommen wurde: sie wiederholt sich in Intervallen von weniger als einer Minute bis zu 20 Minuten und darüber.

Die meisten Bomben fallen wieder in den Krater zurück, so daß man sich ohne Gefahr an dessen Rand aufstellen und dem Spiele des Vulkans zusehen kann. Des Nachts bietet dieses auch aus der Ferne betrachtet einen wundervollen Anblick dar. Jeder Ausbruch legt die glühende Lava bloß, und diese durchleuchtet die Dampfwolke über dem Vulkan mit roter Glut, welche allmählich verschwindet, um nach einiger Zeit wiederzukehren. Diese im Umkreis von 100 englischen Meilen sichtbare schöne Erscheinung hat dem Vulkan Stromboli die Bezeichnung „Leuchtturm des Mittelmeers" eingetragen.

Es ist höchst merkwürdig, daß in einer solchen Feuereffe sich ein Zustand des Gleichgewichts, wie ihn diese rhythmischen Auswürfe bezeugen, seit Jahrtausenden erhalten konnte. Wir sind gewohnt, in den Vulkanen Wirkungen einer regel- und gesetzlos wütenden Kraft zu sehen, und stehen nun vor der Thatsache, daß sich lange Zeiträume hindurch ein Gleichgewichtszustand erhält, so fein reguliert, daß die geringsten Änderungen des Druckes schon merkliche Abweichungen hervorbringen. In der That sind die Ausbrüche des Stromboli vom jeweiligen Barometerstand wesentlich beeinflußt; es ist bei den Umwohnern eine bekannte Regel, daß bei Scirocco die Explosionen häufiger und stärker sind, und daß vermehrter Rauch Stürme und schlechtes Wetter voraussagt. Die Schiffer richten sich mit ihren Fahrten und Unternehmungen nach diesem Zeichen, das die Erfahrung von Jahrhunderten bestätigt hat. Auch ist es bemerkenswert, daß die uralten

griechischen Schiffersagen, wie wir sie in der „Odyssee" aufbewahrt finden, hierher die Residenz des Äolus, des Königs der Winde, verlegen:

„Denn ihn hatte Kronion zum Herrscher der Winde geordnet,
Sie durch seinen Befehl zu empören oder zu schweigen."

Diese Sage weist darauf hin, daß schon in jener frühen Zeit die „äolische Insel" eine bestimmte Beziehung zu Wind und Wetter äußerte, und daß schon damals dieselbe Abhängigkeit der periodischen Ausbrüche von den meteorologischen Faktoren herrschte. Der Grund der Erscheinung kann nur darin gesucht werden, daß bei stärkerem Drucke der Atmosphäre, bei hohem Barometerstand, also im großen und ganzen bei bevorstehendem guten Wetter, die aufsteigende Dampfblase im Krater, welche eine Explosion verursacht, unter stärkerem Drucke steht, also einen größeren Widerstand zu überwinden hat als bei niederem Barometerstand, bei dem die Ausbrüche häufiger erfolgen.

Es gibt nur wenige Vulkane auf Erden, die, wie der Stromboli, in fortwährender Thätigkeit sind, und wohl keiner ist durch dieselbe Regelmäßigkeit ausgezeichnet. Es wird noch der Asama-Yama auf Japan erwähnt, der sich seit einem heftigen Paroxysmus im Jahre 1783 in unausgesetzter Thätigkeit befinden soll; ferner wird der Vulkan Sioa auf den Molukken und der Tofua auf einer der Freundschaftsinseln sowie der Masaya in Nicaragua angeführt. Das berühmteste Beispiel aber bietet der riesige, 5223 m hohe Sangai in Ecuador, über den Alex. von Humboldt im „Kosmos" wichtige Nachrichten gibt. Im Jahre 1849 wurde dieser in schwer zugänglicher Gegend gelegene Riesenberg von Sebastian Wisse erstiegen, und dieser beobachtete in einer Stunde 267 Explosionen, deren jede Rauch, Asche, Lapilli und eine Anzahl größerer Steine auswarf; neuerdings aber hat die strenge Regelmäßigkeit aufgehört, und Zeiträume von einigen Stunden liegen zwischen den einzelnen Ausbrüchen.

Etwas Ähnliches scheint sich übrigens seit einem Jahrzehnt auch am Stromboli zu vollziehen. Im November 1882 ereigneten sich an diesem merkwürdigen, sonst so auffallend ruhig arbeitenden Vulkan Erdbeben und Detonationen von einer Stärke wie niemals zuvor. An der „Sciarra" genannten Wand bildeten sich 100 m unterhalb des Kraters fünf seitliche Bocche, und diese schleuderten mit großer Gewalt Steine und Aschen aus. Im Dezember schlossen sich die neuen Öffnungen, und der alte Krater nahm die gewohnte regelmäßige Thätigkeit wieder auf, bis im Oktober 1888 und das ganze folgende Jahr abermals verstärkte Manifestationen Aufmerksamkeit erregten und um so mehr Beachtung fanden, als gleichzeitig auch auf der Insel Volcano Eruptionen stattfanden. Langandauernde Detonationen und ziemlich starke Erschütterungen gingen neben der Bildung neuer Adventivkegel einher und es kam sogar zum Ausfluß basaltischer Lavaströme, eine Erscheinung, welche am Stromboli bisher nicht bekannt war. Wie Mercalli gezeigt hat, bestehen übrigens auch einige alte Lavaströme am Stromboli. Demselben Forscher verdanken wir den Nachweis, daß ein innerer Zusammenhang zwischen der verstärkten Thätigkeit des Stromboli und der gleichzeitigen Eruption auf Volcano nicht anzunehmen sei.

Südlich vom Stromboli liegt die Insel Panaria, umgeben von einer Anzahl kleiner Eilande, Basiluzzo, Dattilo ꝛc., welche man als Trümmer eines großen Zentralvulkans aufzufassen pflegt. Gegenwärtig sind diese Inseln Sitz einer unterseeischen Solfatare.

Auch die größte Insel der Gruppe, Lipari, befindet sich jetzt nicht in eruptiver Thätigkeit, ihre ehemaligen Feuerberge, deren Kegel noch sehr gut erhalten und ziemlich regellos verteilt sind, scheinen erloschen, doch sind noch einige an Schwefelwasserstoff reiche heiße Quellen als Reste der früheren Thätigkeit vorhanden. Besonders bemerkenswert ist die Entwickelung, welche hier die sehr kieselsäurereichen trachytischen Laven erreichen. Sie ist so auffällig, daß sich J. Roth veranlaßt sah, diese ganze Gruppe von Gesteinen allgemein nach dieser Lokalität als Liparite zu

bezeichnen. Mächtige Ströme glasigen Obsidians treten auf, auch körnige Trachyte; vor allem aber ist Bimsstein hier in ganz kolossaler Entwickelung vorhanden. Derselbe ist ein glasiges, aber überaus poröses, schwammiges oder schaumartiges Gestein, ein von zahllosen Luftblasen durchsetztes Gewebe glasiger Häute, meist von heller, selten von schwärzlicher Farbe. Der Bimsstein unserer europäischen und wohl der meisten Vulkane überhaupt ist ein sehr kieselsäurereiches Glas, allein die Südseeinseln haben nach Cohen auch kieselsäurearme schaumige Gläser, Basaltbimssteine, geliefert.

Infolge der großen Menge von Luftblasen, die der Bimsstein enthält, schwimmt er auf dem Wasser, bis dieses in alle Hohlräume eingedrungen ist und die Luft ausgetrieben hat. So kommt es, daß dieses Material durch Meeresströmungen und Winde weit von seinem Ursprungsorte fortgetrieben werden und in großer Entfernung von diesem zur Ablagerung gelangen kann. Nach dem großen Ausbruch des Vulkans Conseguina in Nicaragua traf das Schiff Conway unter 7° 26′ nördlicher Breite und 104° 45′ westlicher Länge von Greenwich auf große Mengen schwimmenden Bimssteins; in einer Entfernung von 1100 engl. Meilen vom Ausbruchspunkt hatte das Schiff eine 40 Meilen breite Zone zu passieren, die ganz mit Bimsstein bedeckt war. Dieses merkwürdige Material, das hauptsächlich unter den losen Auswürflingen vieler, aber nicht aller Vulkane, seltener unter den Lavaströmen vorkommt, ist namentlich auf Lipari in ungeheurer Menge vorhanden und nimmt an dem Aufbau der Insel einen hervorragenden Anteil. Die Steinbrüche am Capo Bianco auf Lipari liefern so ziemlich allen Bimsstein, der in Europa in den Handel kommt.

Außer dem Stromboli ist noch Volcano ein aktiver Berg, doch sind seine Eruptionen selten. Soviel man weiß, hatte er, vom Jahre 475 v. Chr. angefangen, mehrere stärkere Eruptionen mit Lavaabfluß in sehr langen Intervallen, dazwischen schwächere Ausbrüche mit Aschenwurf. Die letzte große Eruption wird in das Jahr 1771 verlegt, und hierauf wird der Obsidianstrom Pietre cotte, auf der Nordseite des Vulkankegels, bezogen. Nach 1771 trat die Insel in einen durch seltene Aschenauswürfe unterbrochenen Solfatarenzustand ein. Die Gase, welche während der gewöhnlichen Solfatarenthätigkeit ausgestoßen wurden, bestanden hauptsächlich aus Wasserdampf, Salzsäure und Schwefelwasserstoff, denen noch Salmiak und Borsäure und wahrscheinlich auch noch andere Gase, namentlich Stickstoff und Kohlensäure, beigemischt waren. Die wertvollen Bestandteile der Fumarolen wurden in sehr einfacher Weise gewonnen, indem man die Mündungen der schwächeren Ausströmungen mit lockerem Material, vulkanischer Asche ꝛc., belegte; die Gase waren gezwungen, durch diese Lage hindurchzustreichen und setzten Alaun, Schwefel, Salmiak und Borsäure in Kristallen ab. Nach einiger Zeit wurde die Asche von den Mündungen weggenommen und als Rohmaterial zur weiteren Verarbeitung in die Fabrik gebracht.

Im Jahre 1873 wurde dieser Zustand durch eine 44 Tage währende stärkere Eruption mit Auswurf von Steinen und Aschen unterbrochen, und seither kam der Berg nicht mehr in jene Ruhe wie vordem. Die Eruptionen wurden häufiger und zwangen die früher im Krater selbst etablierte Industrie zum Rückzug auf dessen äußere Abhänge. Eine noch bedeutendere Steigerung der Aktivität begann mit dem 3. August 1888 und dauerte bis zum 22. März 1890, also ein volles Jahr und acht Monate. Die Arbeit des Berges war intermittierend, mit Pausen von 5—30, selbst 40 Minuten. In den Wintermonaten war eine Steigerung der Zahl der Eruptionen zu bemerken, welche man wohl dem in dieser Jahreszeit durchschnittlich geringeren Luftdruck zuschreiben muß. Die Eruptionen vollzogen sich unter dumpfen Detonationen von wechselnder Stärke, jedoch ohne wesentliche Erschütterung des Bodens und unter lebhaften elektrischen Entladungen im Krater, und hierbei wurden jeweilig große Dampfmassen, vermengt mit Asche, Lapilli und eigentümlichen Bomben mit bimssteinartigem Inneren und glasiger, von Sprüngen

durchzogener Rinde ausgeworfen. Offenbar haben diese Bomben den tiefen Kraterschacht schon in halbstarrem Zustand verlassen und erhielten jene eigenartigen Rindenrisse durch die Ausdehnung der im Inneren vorhandenen Gase und Dämpfe. Viele Bomben umschlossen im Inneren Stücke alter Lava. Ein oberflächlicher Ausfluß von Lava fand nicht statt. Nach dem 22. März 1890 verfiel der Krater wieder in den gewohnten Solfatarenzustand.

Sehr merkwürdig waren die Begleiterscheinungen dieser Eruptionsperiode. Auf Lipari erschienen im sogenannten Piano greco und im Bagno secco neue Fumarolen, und nahe der Küste der Insel Salina wurden in einer Sconcasso genannten Gegend, welche im Volke als submarine Ausbruchsstelle gilt, lebhafte Gasausströmungen bemerkt. In der That bezeugen viele Überlieferungen das Vorkommen von untermeerischen Ausbrüchen um Volcano. So ist die gegenwärtig mit drei kleinen Kratern versehene Halbinsel Volcanello im Jahre 183 v. Chr. durch eine submarine Eruption als Insel aufgeworfen und erst später durch nachfolgende Förderungen, wie man berichtet im Jahre 1570, mit Volcano vereinigt worden. Diese Erscheinungen sind auch diesmal nicht ausgeblieben: man beobachtete am 29. November 1888 ein lebhaftes Aufwallen der See und Ausstoßen von Bimsstein an einer Stelle bei Volcano, an welcher wenige Tage zuvor das unterseeische Telegraphenkabel zerrissen war, und ungefähr in derselben Gegend wurde im späteren Verlauf der Eruption, am 30. März und am 11. September 1889, das Kabel noch zweimal beschädigt.

Die Veränderungen im Krater beschränkten sich auf die Ausfüllung des vordem sehr tiefen Auswurfschachtes, dessen Boden 130 m unter der tiefsten, 246 m unter der höchsten Stelle des Kraterrandes gelegen war. Die prähistorischen Eruptionen scheinen dagegen größere Veränderungen hervorgerufen zu haben, wie wir aus dem ganzen Bau der Insel schließen können. Der Krater wird nämlich von einer weiten, halbkreisförmigen Somma umrahmt, er steht aber nicht genau in der Mitte dieser, sondern ist etwas nach außen, nach der eingebrochenen Seite der Somma gerückt. Ein ganz ähnlicher Sommaring bildet den südöstlichen Teil der Insel, und dieser ist wiederum durch die ersterwähnte Somma abgeschnitten, so daß eine Gestaltung entsteht, welche sonst im Gefolge einer exzentrischen Verschiebung der Eruptionsachse längs der Hauptspalte eintritt. Auch das Vorkommen zweier kleiner Krater auf der Nordseite des gegenwärtigen Vulkankegels und die Lage der Krater von Volcanello sprechen deutlich für eine gegen Norden fortschreitende Verschiebung der Ausbruchsachse, die freilich von einem vortrefflichen Kenner der Inselgruppe, Professor Mercalli, in Abrede gestellt wird.

Ein andere Gruppe vulkanischer Inseln an der Küste Italiens zieht sich westlich vom Golfe von Gaeta hin; es ist die Gruppe der Pontinischen Inseln: Ponza, Ventotene, Palmarola, Zanone und San Stefano, die von Scrope und in neuerer Zeit von Dölter näher untersucht worden sind. Wir haben es hier nicht mehr, wie in den bisher besprochenen Fällen, mit dem Schauplatz ganz junger Eruptionen zu thun, sondern mit den Trümmern und Überresten tertiärer Vulkane. Es gibt auch in Italien mehrere solcher älterer Gebilde, unter denen namentlich die inselartig aus der Poebene aufragende Berggruppe der Euganeen und die sehr verbreiteten Basalte der Umgebung von Verona und Vicenza zu nennen sind, die sich noch in mehrfachen Ausläufern ins Gebiet der Südalpen, namentlich ins Etschthal, hinauf erstrecken, aber alle diese Vorkommnisse gehören dem älteren Teile der Tertiärzeit an.

NÖRDLICHES EISMEER
Grönland
Baffin-Bai
NORD-AMERIKA
Alaska
Beringe-Meer
Aleuten
STILLER OZEAN
ODER SÜD-SEE
POLYNESIEN
SÜDAMERIKA
Brasilien
Guayana
Karibisches M.
Florida
G. v. Mexiko
ATLANTISCHER OZEAN
Äquator
Verteilung
der
VULKANE
auf der Erde.
Die vulkanischen Gebiete sind mit roter Farbe bezeichnet.

...institut in Leipzig.

Vulkaninseln im Atlantischen Ozean.

Die beigeheftete Karte ist bestimmt, die Verteilung der Vulkane auf der Erde darzustellen. Es wurde auf ihr soweit wie möglich das Prinzip verfolgt, nur solche Eruptivpunkte zu verzeichnen, welche entweder nachweisbar in nachtertiärer Zeit thätig waren, oder durch erhaltene Krater, Kegel oder durch mit letzteren noch in Verbindung stehende Lavaströme ein sehr jugendliches Alter bezeugen. Eine bewußte Ausnahme davon wurde nur bezüglich der westlichen Staaten von Nordamerika gemacht, in denen ungeheure Eruptivgebiete teils tertiären, teils jüngeren Alters vorhanden sind, ohne daß eine Scheidung heute möglich wäre. In Vulkangebieten mit zahlreichen reihenförmig angeordneten Feuerbergen wurde deren Lage durch einen zusammenhängenden Strich angedeutet.

Ein Blick auf die Karte zeigt uns einige höchst merkwürdige Verhältnisse. In erster Linie sehen wir, daß fast alle thätigen Vulkane *nahe an der Küste oder auf Inseln* liegen; entfernt vom Meere, aber doch nicht tief im Binnenlande sind der Ararat und ein Teil der mexikanischen und südamerikanischen Vulkane, welch letztere man aber in ihrer Gesamtheit immerhin noch als eine Küstenkette bezeichnen kann. Auch von den erloschenen Vulkanen sind die meisten entweder am Meere oder an großen, entweder noch jetzt oder früher, zur Zeit ihrer Thätigkeit, vorhandenen Binnenseen; doch ist hier die Zahl der Ausnahmen erheblich größer. Wenn wir ferner die Festlandsküsten näher ins Auge fassen, so sehen wir, daß sie nicht alle gleichmäßig Vulkane tragen, und daß solche in nennenswerter Zahl sich nur da finden, *wo Gebirgsketten längs der Küste verlaufen* und gegen diese steil abbrechen. Eine dritte wichtige Erscheinung, die zuerst von *L. von Buch* in seinem klassischen Werke über die Kanarischen Inseln in richtiger Weise gewürdigt wurde, ist die *reihenförmige Anordnung* weitaus der meisten Vulkane. Ein Blick auf die Karte zeigt diese Reihen an den meisten Orten in vollster Klarheit, so daß es wohl überflüssig ist, sie einzeln aufzuführen; sie geben uns die Richtung großer Spaltenzüge an, welche in die Tiefen niedergehen. Man hat in früherer Zeit neben den Reihenvulkanen noch Zentralvulkane unterschieden, bei welchen sich rings um einen Mittelpunkt ohne deutlich lineare Anordnung andere Ausbruchstellen gruppieren; doch ist es sehr wahrscheinlich, daß sich auch diese Vorkommnisse auf das Auftreten von Radialspalten werden zurückführen lassen.

Abgesehen von diesen sehr wichtigen Verhältnissen der Detailgruppierung, tritt in der Verteilung der Vulkane im großen und ganzen eine wichtige Thatsache hervor: es ist das die merkwürdige *Gruppierung der großen Mehrzahl aller Vulkane um den Stillen Ozean*. Vom Feuerland an zieht sich, wenn auch mit Unterbrechungen, eine Riesenkette gewaltigster Vulkane, teils thätig, teils erloschen, an der Westküste des ganzen amerikanischen Kontinents nach Norden, bis Alaska, wo dann jene eigentümliche Bildung geschwungener, meist auf Inseln gelegener Vulkanreihen beginnt, welche man mit herabhängenden Blumengewinden verglichen hat. Vor die Beringstraße, zwischen Amerika und Asien, legen sich die Aleuten mit ihren zahlreichen Vulkanen, dann folgen Kamtschatka, die Kurilen, Japan, die Liukiu-Inseln, Formosa, die Philippinen, endlich die Molukken. Diese schließen sich im Süden an die mächtige Vulkanreihe an, die vom Meerbusen von Bengalen über Sumatra, Java und die in Javas Verlängerung gelegenen Inseln gegen Neuguinea hinstreicht; von hier aus findet sich gegen Osten, zwischen dem 10. und 20. Grade südlicher Breite, eine größere Anzahl kleiner Vulkaninseln, die im Osten mit den Gesellschafts- und Markesas-Inseln endigen. Zwischen diesen und der Küste von Südamerika schließt die isolierte Osterinsel den riesigen Kranz, der den größten Teil des Stillen Ozeans umfaßt und in seinem Zentrum die mächtige Vulkangruppe der Sandwichinseln enthält; *ungefähr drei Viertel aller aktiven Vulkane gehören diesem Areal an*.

Kein anderes Gebiet der Erde zeigt ähnliche Verhältnisse; das atlantische Becken hat nur in den Kleinen Antillen eine ganz kurze Randkette, sonst finden sich einige Gruppen vulkanischer Inseln in demselben zerstreut, eine Vulkanlinie läuft vom afrikanischen Festland aus ins Meer hinein, aber nichts läßt sich auch nur entfernt mit jenen oben geschilderten Verhältnissen vergleichen. Ähnlich verhält es sich mit dem Indischen Ozean und mit dem Südlichen Eismeer.

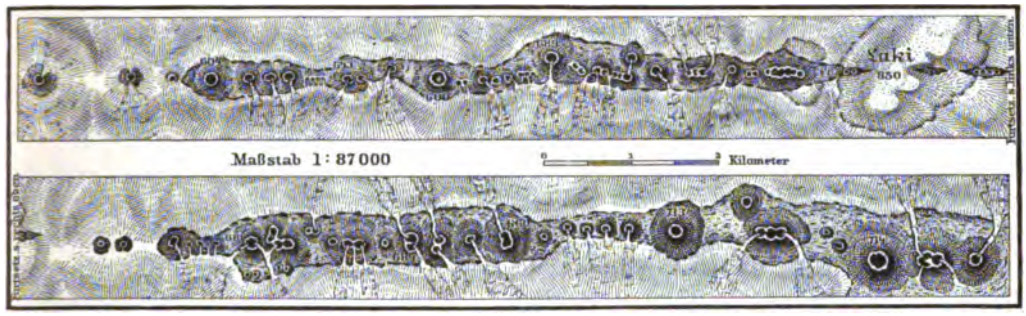
Wir wollen die hauptsächlichsten Vulkandistrikte der Erde in kurzer Skizze darzustellen suchen; manche neue Verhältnisse werden uns dabei begegnen, vor allem aber werden wir finden, daß die italienischen Feuerberge uns nur ein verhältnismäßig schwaches Bild von der furchtbaren Intensität der vulkanischen Energie geben, wenn sie sich auch wegen ihrer leichten Zugänglichkeit und wegen der genauen Kenntnis, die wir von ihnen besitzen, für das erste Studium und als Beispiele in ausgezeichneter Weise eignen. Wir betrachten zuerst das atlantische Becken mit seinen Anhängen, dann dasjenige des Indischen Ozeans, endlich den großen Vulkanring des Stillen Ozeans; die sporadischen Feuerberge im Antarktischen Meere mögen den Schluß bilden.

Im hohen Norden des Atlantischen Meeres finden wir eins der gewaltigsten Zentren vulkanischer Thätigkeit in Island, zugleich eines jener Gebiete, in welchen der Verlauf der Ausbrüche und die Gestaltung der Vulkane die größten Abweichungen vom gewöhnlichen Vesuvtypus erkennen lassen und ein bedeutsames Licht auf gewisse Vorkommnisse der älteren Formationen werfen. Die nähere Kenntnis dieser Eruptionen ist eine Errungenschaft der neuesten Zeit. Wohl wurden die vulkanischen Ausbrüche auf Island seit Jahrhunderten verzeichnet und Beobachtungen darüber angestellt, und es haben auch fremde Naturforscher diese geheimnisvoll düstere Insel zu wiederholten Malen untersucht; allein diese Forschungen beschränkten sich fast ausschließlich auf die kultivierten Teile im Süden der Insel, die unter dem Einfluß der feuchten Wärme des die Küsten bespülenden Golfstromes üppigen Wiesenwuchs erzeugen und dem zähen und genügsamen Geschlecht der Nordmänner die Existenz ermöglichen. Die weitaus interessantesten Gegenden im inneren und nordwestlichen Island dagegen blieben fast gänzlich vernachlässigt, weil das Reisen und der Aufenthalt daselbst mit außergewöhnlichen Schwierigkeiten und Entbehrungen verbunden ist. Mächtige Gletscher, weite Strecken nackter Lava oder loser Asche machen dieses Gebiet zu einer furchtbaren Wüstenei. Meilenweit fehlt jegliche Vegetation, und manche Teile dieses trostlos öden Landes hat noch nie eines Menschen Fuß betreten. Wir müssen unter anderem den Bemühungen von Johnstrup und Helland, besonders aber der Unerschrockenheit und Ausdauer des Isländers Th. Thoroddsen dankbare Anerkennung zollen, welche aus diesem Gebiet soviel wichtige Thatsachen beigebracht haben.

Die Basis der Insel Island bilden mächtige tertiäre Basaltdecken und Tuffe, denen Braunkohlenlager, sogenannte Surturbrandr, eingelagert sind. Auffallenderweise sind auch die Sabine-Insel in Ostgrönland, die Insel Disco und die Färöerinseln ebenso zusammengesetzt, so daß man auf den Gedanken kommt, daß diese Gebiete die Reste einer riesigen basaltischen Decke darstellen, welche sich in der Tertiärzeit dort ausdehnte; selbst die Basalte von Schottland und Irland könnten noch Ausläufer dieses Distrikts sein.

Am Schluß der miocänen oder zu Beginn der pliocänen Periode ist diese gewaltige, über 3000 m mächtige basaltische Platte auseinander gebrochen, große Teile sind gänzlich versunken, und Island hat im wesentlichen seine jetzige Gestalt erhalten. Die Basaltformation nimmt namentlich die Randpartien Islands ein. Sie ist, wie Keilhack gezeigt hat, von Basaltgängen und von mächtigen Spalten und Grabensenkungen durchsetzt, trägt aber im allgemeinen nur unbedeutende Vulkane; solche finden sich dagegen in übergroßer Zahl im südlichen, mittleren und nordwestlichen Teil des Landes, soweit dasselbe aus Palagonit- oder Tachylyttuff zusammengesetzt ist. Betreffs dieses in Breccie übergehenden und Basaltbomben und Schlackenstücke

führenden Tuffs ist noch manche Frage ungelöst. Keilhack ist geneigt, den Palagonittuff, soweit er mit dem Basalt in Verbindung steht, als Produkt der ersten Phase der vulkanischen Thätigkeit anzusehen, dagegen als gleichalterig mit den jungen Ausbrüchen da, wo er in langen Zonen das jungvulkanische Gebiet durchzieht, während Thoroddsen ihn für jünger hält als die miocäne Basaltformation und ihn einer besonderen Eruptionsepoche zuschreibt, welche sich in dem bogenförmigen Senkungsgebiet des mittleren Island in heftigen Auswürfen von Aschen, Lapilli und Bomben geäußert hat. Wie dem auch sein mag, so haben wir jedenfalls die Thatsache zu verzeichnen, daß dieser Tuff von weithin verfolgbaren Spalten durchsetzt wird, auf welchen sich die jüngste vulkanische Thätigkeit bewegt. Die Richtung der Spalten entspricht der Bogenform des Senkungsfeldes. Im westlichen und südlichen Island streichen die Spalten gegen Ostnordosten, weichen im mittleren Teil gegen Nordosten und selbst Nordnordosten ab, um endlich im nördlichen Island die nordsüdliche Richtung anzunehmen. Entlang diesen dominierenden Linien treten seit langer Zeit Erdbeben, Eruptionen, heiße Quellen und Senkungen auf.



Kraterreihe des Ausbruches von 1783 auf der Skaptarspalte (Lakikrater), Island. (Nach J. A. Helland.)
Vgl. Text, S. 197 und 198.

Unter den Vulkanen Islands befinden sich nur wenige, die nach Art des Vesuvs steile Kegel aus wechselnden Tuff- und Lavadecken bilden und individualisierte, lange Zeit hindurch benutzte Auswurfspunkte vorstellen. Thoroddsen nennt nur zwei Vulkane dieser Art, den Snoefellsjökull und Eyjafjallajökull. Meistens quillt die dünnflüssige Lava aus den Spalten ihrer ganzen Länge nach unmittelbar hervor und breitet sich je nach den gegebenen Verhältnissen des Geländes bald deckenförmig nach allen Richtungen hin aus, bald fließt sie in Stromform ab. Über der Spalte entsteht zumeist eine Reihe von Kraterkegeln, jeder unmittelbar an den folgenden schließend, wie die Glieder einer Perlenschnur, und zusammengesetzt aus Schlackenfetzen und Lava. Diese Gebilde haben keine andere Bedeutung als die parasitischen Kegel der größeren Vulkane, sie arbeiten nur bei demselben Ausbruch, dem sie ihre Entstehung verdanken. Wenn sich aus einer benachbarten Spalte neuerdings Lava ergießt, so werden sie darunter fast spurlos begraben. In anderen Fällen fließt die Lava ruhig aus der Spalte aus, ohne auch nur diese flüchtigen, nebensächlichen Gebilde aufzuwerfen, oder es bilden sich beim Austritt der Lava zu beiden Seiten der Spalte keine Kegel, sondern lange Wälle von Schlacke und Lavastücken.

Einer der großartigsten Spaltenergüsse dieser Art hat sich im Jahre 1783 südlich vom Skaptar-Gletscher im südlichen Island ereignet. Die Spalte hat die Richtung gegen Nordosten und setzt 24 km lang im Palagonittuff auf, welcher nur in wenigen kleinen Hügeln aus der jungen Basaltdecke aufragt. Zuerst ergoß sich die Lava aus dem westlichen Teil der Spalte, später aus dem östlichen Teil, und auf der Spalte selbst wurden nicht weniger als 34 größere und 60 kleine Spratzkegel und Krater aufgeworfen. Die meisten sind nur wenige Meter hoch, der größte erhebt sich 150 m über seine Umgebung (s. obenstehende Abbildung). Die Lava breitete sich zu beiden

Seiten der Spalte aus, floß später in zwei Strömen von 80, beziehentlich 45 km Länge gegen die Küste ab und bedeckte im ganzen eine Fläche von ungefähr 900 qkm. Helland, dem wir die erste genaue Schilderung dieses ebenso großartigen wie merkwürdigen Ausbruchs verdanken, nimmt eine mittlere Mächtigkeit des Stromes von 30 m an und schätzt demgemäß die geförderten Massen auf 27 ckm. Die Skaptarspalte hat den mächtigsten Lavastrom ergossen, von dem wir Kunde haben. Die begleitenden Ereignisse dieser denkwürdigen Eruption schildert E. Reyer (nach Helland) folgendermaßen (etwas gekürzt):

„Am 1. Juni 1783 wurde der Küstenstrich von Erdbeben betroffen, welche mit wenigen Unterbrechungen eine Woche anhielten. Im Norden war der Himmel verfinstert, Bimssteinasche fiel im Bereich der Ansiedelungen in namhafter Menge. In den folgenden Tagen sollte den Strandbewohnern erst klar werden, daß der entfernte Ausbruch ihre Existenz bedrohe. Am 10. Juni sah man weithin im Norden Feuersäulen aufsteigen, und (was den Bewohnern einen ungleich furchtbareren Eindruck machte) der Fluß Skapta, welcher derzeit im Sommer 150 m breit ist, hörte auf zu fließen. Offenbar war der im Hochland ausgebrochene Lavastrom an irgend einer Stelle in das Skaptathal eingetreten, wodurch die Gewässer abgedämmt wurden. Hielt die Eruption an, so mußte der Lavastrom durch das Skaptathal dem Strande zuströmen.

„In den folgenden Tagen rückte die Lava wirklich in großer Mächtigkeit vor. Wo sich das Thal zu einer 100—200 m tiefen Schlucht verengte, staute sich der Strom und füllte die Schlucht bis zum Rande. Die Lava bildete, wo sie mit starkem Gefälle in die Ebene eintrat, furchtbare Glutkaskaden. Der Wind trug in jenen Tagen Schlammregen und saure Dämpfe in so großer Menge zu, daß viele der entsetzt flüchtenden Strandbewohner krank oder ohnmächtig wurden. Am 18. traten neuerdings Beben ein, und es erfolgten Übergüsse, welche die Ränder der Skaptaschlucht ganz überströmten. Die Gewässer der Skapta fanden später den Weg zur Ebene wieder, doch kamen sie infolge des Kontakts mit der Lava mit erhöhter Temperatur in die Niederungen. Wiederholt richtete das heiße Schlammwasser furchtbare Verwüstungen an. Ende Juni erfolgte noch ein namhafter Nachschub, der Strom teilte sich in der Ebene in drei Arme, dann trat Mitte Juli in diesem Gebiet Stillstand ein.

„Nachdem die Bewohner eben von den furchtbaren Eindrücken sich zu erholen begannen, wurden sie Ende Juli abermals durch heftige Erdbeben erschreckt; nun stiegen im Osten mächtige Feuersäulen auf. Anfang August trat der neue Strom in das östliche Hverfisthal ein, gelangte aber trotz wiederholter Nachschübe nicht bis in die Ebene. Noch einmal stiegen zu Ende Oktober im östlichen Gebiet durch fünf Tage Feuersäulen auf, und es kamen Nachschübe und Übergüsse, welche jedoch der Ebene keinen neuerlichen Schaden zufügten. Die Ebene war in der Nähe dieses zweiten Lavastroms für längere Zeit nach dem Ausbruch ein paar Stunden weit von heißen Wassertümpeln bedeckt.

„Der unmittelbare Schaden der Katastrophe war so groß, als er in diesem schwach besiedelten Lande sein konnte; ungleich härter aber waren die Verluste, welche durch die Zerstörung der Vegetation im nächsten Jahre eintraten. Das Vieh konnte nicht erhalten werden, und Hungersnot wütete unter der Bevölkerung. Überdies wurden im Jahre 1784 im Gebiet Arnessyssel gegen 100 Höfe durch Erdbeben zerstört. Diese Ereignisse hatten zur Folge, daß im Laufe des Jahres 1784 von den 47,000 Bewohnern der Insel 9000 starben."

Thoroddsen konnte feststellen, daß die Skaptar-Kraterreihe von 1783 auf einer älteren Spalte gebildet ist, die schon früher, wahrscheinlich im ersten Jahrhundert nach der Besiedelung des Landes, Lava ausgegossen hat. Vielleicht noch merkwürdiger, ja einzig in ihrer Art ist eine gewaltige, von Thoroddsen entdeckte Vulkanspalte am Langisjor zwischen Myrdalsjökull und Vatnajökull. Sie erstreckt sich 4 Meilen weit über Berg und Thal, ohne im geringsten von der

geraden Linie abzuweichen. Berge von mehr als 1000 Fuß Höhe erscheinen wie Spielzeug zerbrochen und 400—600 Fuß tief aufgerissen. Aus dieser Spalte haben sich mehrere mächtige Lavaströme ohne Krater in mächtigen Kaskaden ergossen. Einer derselben ist 6—7 geographische Meilen lang und kann bis an das Meer verfolgt werden.

Zahlreiche ausgezeichnete Spaltenvulkane befinden sich ferner im nordöstlichen Island zwischen den Flüssen Jökulsa und Skálfandafljót. Thoroddsen hat gefunden, daß diese menschenleere Wildnis, von tiefen und langen Parallelspalten zerklüftet, förmlich in Streifen zerschnitten ist, von denen einzelne abgesunken sind und sogenannte „Graben" bilden, während sich andere als

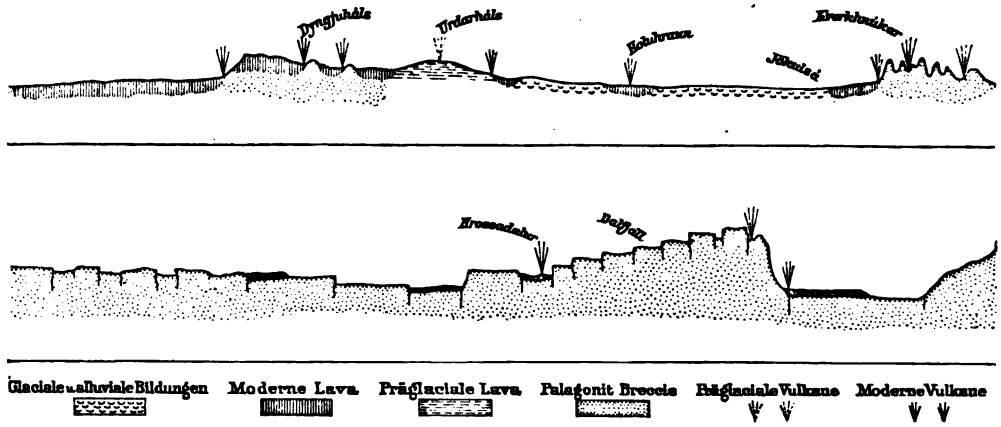
Der Vulkan Hverfjall am Mückensee auf Island. (Nach Preyer und Zirkel.) Vgl. Text, S. 200.

„Horste" in der ursprünglichen Lage erhalten oder sich mindestens weniger stark gesenkt haben. Die Mehrzahl der Spalten steht mit Vulkanreihen in Verbindung, doch kommen auch vulkanfreie Spalten und Senkungen vor. Die größte Senkung der letzteren Art beschreibt Thoroddsen aus dem nordöstlichen Odádahraun; ihre Länge beträgt ungefähr 15, ihre Breite 1 km, und die Wände haben auf beiden Seiten eine Höhe von 30—50 m.

Parallel zu dieser vulkanfreien Grabensenkung liegen die Vulkanreihen Randuborgir, Sveinar und die Krater von 1875. Im Süden der Kraterreihe Sveinar befand sich vor 1875 eine lange, Sveinagja genannte Senkung, deren Spaltenwände beiderseits 10—20 m hoch waren. Am 18. Februar 1875 begannen Ausbrüche an der westlichen Spaltenwand und setzten sich mit Unterbrechungen bis Ende August fort. Hierbei wurden auf der betreffenden Spalte drei Krätergruppen gebildet, die alte Senkung wurde ausgefüllt und darüber noch ein Strom ergossen, dessen Inhalt von A. Helland auf mindestens 276 Millionen Kubikmeter berechnet wurde. Die

Eruption verursachte ein weithin hörbares Getöse, wie eine schwere Brandung an felsiger Küste. Am 12. März hatte der Lavastrom nach Hallgrimur Jónasson schon die Länge einer dänischen Meile. Der Ausbruch wütete an der östlichen Seite eines ungefähr 400 m langen und 13 m hohen Schlackenrückens entlang, und 16 Feuersäulen erhoben sich dicht nebeneinander aus der Spalte, aus welcher ein dichter Regen von Lavaklumpen auf- und niedergeworfen wurde. Der Boden war von vielen kürzlich entstandenen Parallelspalten durchsetzt, und diese wurden, wo der Strom darüber hinfloß, von obenher mit Lava erfüllt. Bei einer dieser Spalten senkte sich die östliche Seite in 12 Stunden um etwas über 2 Fuß. Im April und August war der südliche Teil der Spalte in Thätigkeit.

Durch auffallende Regelmäßigkeit und bedeutende Länge zeichnet sich der in verschiedenen Teilen verschieden (Námufjall, Dalfjall, Leirhnúkura) benannte Horst im Osten des Mückensees (Myvatn) aus. Bei einer Höhe von 400—600 m ist er 30 km weit zu verfolgen. Seine Rand-



Durchschnitte der Vulkanreihen im Odádahraun auf Island. (Nach Thoroddsen.)

spalten tragen beinahe ununterbrochene Kraterreihen und haben riesige Massen von Lava ergossen. Namentlich zwischen 1724 und 1730 hatten sie eine ausgiebige Ausbruchsperiode. Gegenwärtig treten an diesen Spalten Fumarolen, Solfataren und heiße Schlammquellen hervor. Unter den Vulkanen am Mückensee zeichnet sich der Hverfjall durch seine regelmäßige Form aus (s. Abbildung, S. 199). Einen anziehenden Gegensatz zu diesen großartigen Äußerungen des Vulkanismus bildet das Vorkommen von winzigen, modellartigen Miniaturspalten, wie Thoroddsen eine solche im Süden der Sveinagja vorfand. Auf einer nur 10 m langen und 10—12 cm breiten Spalte sitzen 12 kleine Krater, deren größter nur 1 m, die übrigen nur 12—16 cm im Durchmesser hatten. Eine ähnliche vulkanische Spalte mit einem kleinen Lavastrom, aber ohne Krater, untersuchte Thoroddsen bei Helgafell auf der Halbinsel Reykjanes.

Während in der Gegend des Myvatn und im nördlichen Odádahraun nordsüdliche Dislokationen herrschen, treten im südlichen Odádahraun hauptsächlich gegen Nordosten streichende Spalten auf. An solchen stehen die Kraterreihen Kverkhnúka-rani und Dyngjuháls. Die ersteren bestehen aus unzähligen kegelförmigen Felsspitzen aus Tuff und Breccie, und dazwischen ist die Lava aus einer ebenso großen Menge von Kratern hervorgequollen und in den abenteuerlichsten Formen aufgetürmt. Die oben abgebildeten Durchschnitte von den Kverkhnúka-rani zu den Dyngjuháls gewähren einen guten Einblick in den Bau dieses merkwürdigen Vulkangebiets.

In der Gegend des Kesselthals Askja kreuzen sich nordsüdliche und nordöstliche Spalten, und daher kommt es wohl, daß der Vulkanismus hier eine so großartige Entwickelung nimmt,

wie kaum an einer zweiten Stelle in Island. Leider ist aber die Askja ihrer überaus schwer zugänglichen Lage halber nur wenig erforscht. Die Außen- und Innenseiten des riesigen, eine Fläche von ungefähr 55 qkm einnehmenden Tuffwalles der Askja sind außen und innen mit zahllosen Kratern besetzt. In der südöstlichen Ecke befindet sich ein See, umgeben von starken Fumarolen und einigen Kratern, welche am 2. und 3. Januar 1875 Basalt- und Tuffblöcke auswarfen. Am 29. März folgte jener heftige Bimssteinausbruch, dessen Asche bis nach Stockholm getragen wurde. Der Kratergrund ist jetzt in einen bläulichgrünen, beständig kochenden und brodelnden Thonbrei umgewandelt. Unter Tosen und Brüllen suchen eine mächtige Dampfsäule und viele kleine Strahlen ihren Weg aus den Kraterwänden. Das Regime der Askja-

Der Beerenberg auf Jan Mayen. (Nach dem Werke der norwegischen Nordpolexpedition.) Vgl. Text, S. 203.

Krater ist offenbar mindestens zum Teil abweichend von dem der Spaltenvulkane, und es ist die Askja auch der einzige Punkt in Island, der in historischer Zeit echten weißen Bimsstein geliefert hat. Die nach Nordosten gerichteten Dislokationen des südlichen Ódádahraun am Fuße des Vatna-Gletschers beherrschen auch die Lage der Vulkane im ganzen südlichen und westlichen Island auf der Halbinsel Reykjanes und in der Gegend der altberühmten Hekla, welche einen 20 km langen Tuffrücken mit zahlreichen Kratern bildet.

Außer den Spaltenergüssen und den untergeordneten Tuffvulkanen kennt man in Island noch einen ferneren, sehr merkwürdigen Vulkantypus, den der flach schildförmigen Lavavulkane mit großen, schachtförmigen Kratern. Wir werden diese Bildungen in ihrer mächtigsten Entwickelung weiter unten von der Insel Hawai näher kennen lernen. Ob die Art der Thätigkeit bei den isländischen Vulkanen dieser Art mit den Verhältnissen Hawais übereinstimmt, läßt sich nicht sicher feststellen, da diese Lavavulkane in Island gegenwärtig nicht aktiv sind; nach ihrem Bau stimmen sie aber mit den Vulkanen von Hawai gut überein. Die größten unter ihnen sind nach

Thoroddsen der Trölladyngja und Kollottadyngja im Odádahraun und der Styrtur im mittleren Island, zwischen Hofs- und Langjökul. Keilhack nennt außerdem den Skjaldbreid (Breitschild) nördlich vom Thingvalla-See. Der Trölladyngja hat eine Höhe von 1491 m ü. M. und einen Durchmesser von 15 km, der Kollottadyngja ist etwas kleiner. Die Gehängeneigung dieser überaus flachen Vulkankuppeln schwankt zwischen 1 und 10 Grad. Die Abhänge bestehen ausschließlich aus zahllosen Lavadecken mit Spratzkegeln auf der Oberfläche und Höhlungen im Inneren, der Gipfel wird von großen kreisförmigen oder elliptischen steilwandigen Kratern eingenommen, und Thoroddsen zweifelt nicht, daß diese Krater einst wie die Vulkane Hawais

Der Fugleberg auf Jan Mayen, eine Kraterruine. (Nach dem Werke der norwegischen Nordpolexpedition.)
Vgl. Text, S. 203.

Lavaseen enthielten. Im Basaltgebiet kennt man viele kleinere Vulkane am Meerbusen Faxafjördur im südwestlichen Island. Diese sind ihrer Verteilung halber interessant, sie ordnen sich, wie Thoroddsen gezeigt hat, in einem Halbkreis um den Meerbusen und liegen an Bruchlinien, an denen auch warme und kohlensäurehaltige Quellen hervorbrechen. Der Meerbusen Faxafjördur stellt sich auf diese Weise als „Kesselbruch" dar.

Ihrer chemischen Natur nach sind die Förderungen auf Island zumeist basischer Natur, man kennt aber auch saure Gesteine, Liparite, Bimsstein und aus junger Zeit stammende Obsidianströme, wie den Itrafutinuhraun in der Hekla-Region, und andere Ströme am Krafla, am Torfa-Jökull und besonders in der Gegend des Jökulbarmur im Inneren des Landes. Nach der Beschaffenheit der Oberfläche der Lavaströme lassen sich in Island ebenso wie in anderen Gebieten zwei Hauptformen unterscheiden, die Helluhraun und die Apalhraun, von denen die erstere der Fladenlava (Pahoëhoë), die letztere der Blocklava (Aa) entspricht. Die Apalhraun, deren Oberfläche

aussieht „wie ein von Sturm gepeitschtes Meer", nimmt in Island kleinere Flächen ein als die Helluhraun, welche sich in Island speziell als ausgezeichnete Plattenlava ausspricht. Die Masse der auf Island geförderten Lava ist eine enorme. Thoroddsen gelangt allein für den nordöstlichen Teil der Insel zwischen Jökulsa und Skalfjandafljót zu der Zahl von 216 ckm. Man nimmt an, daß seit der Besiedelung des Landes im 9. Jahrhundert 20 Vulkane Ausbrüche gehabt haben; die meisten Eruptionen ereigneten sich an der Hekla (21) und Katla (12).

Als eine Fortsetzung der vulkanischen Kette, welche Island schräg durchsetzt, kann die noch höher im Norden gelegene Insel Jan Mayen betrachtet werden, deren höchster, gletscherbedeckter Gipfel, der 2545 m hohe Beerenberg, ein erloschener Vulkan ist, während an niedrigeren Punkten sowie an der ganz nahe gelegenen Eierinsel wirkliche Thätigkeit beobachtet wurde. Die beiden Abbildungen auf S. 201 und 202 zeigen den mit zahlreichen parasitischen Kratern besetzten Beerenberg und den Fugleberg, einen zerstörten Krater, in dessen Becken das Meer eingedrungen ist. An den Beerenberg schließt sich in südwestlicher Richtung eine niedere, lange und schmale Landzunge an, welche zahlreiche kleinere Krater trägt. Das Eruptionsmaterial ist basaltisch.

Von da fehlt dem Atlantischen Ozean auf ungeheure Strecken jede Spur vulkanischer Thätigkeit; die ganze Ostküste von Amerika, vom Polarkreis bis zum Feuerland, hat sowenig einen Vulkan wie die Westküste von Europa oder von Afrika nördlich von der äquatorialen Region. Erst im innersten Winkel des Golfes von Guinea trägt der schwarze Weltteil eine Reihe nicht mehr thätiger, aber gut erhaltener Vulkane, zu welcher der ungefähr 4000 m hohe Kamerunpik und die Inseln Fernando Póo, Principe, San Thomé und Anno Bom gehören. Vielleicht bildet der alte Vulkan am Tsadsee den nordöstlichen Ausläufer dieser Reihe. Gegen Südwesten liegt die Insel St. Helena mit ihrem erloschenen Krater in der Fortsetzung der Kamerunlinie. Von St. Helena scheint eine Vulkanreihe nach Nordwesten über Ascension gegen den St. Paul-Felsen abzuzweigen. Wenn dies richtig ist, würde die Insel St. Helena als Kreuzungspunkt zweier Vulkanlinien zu betrachten sein. Ob etwa auch das weiter südlich im Südatlantischen Ozean gelegene Tristan da Cunha auf eine von St. Helena ausgehende Spalte zu beziehen sei, läßt sich nicht bestimmen.

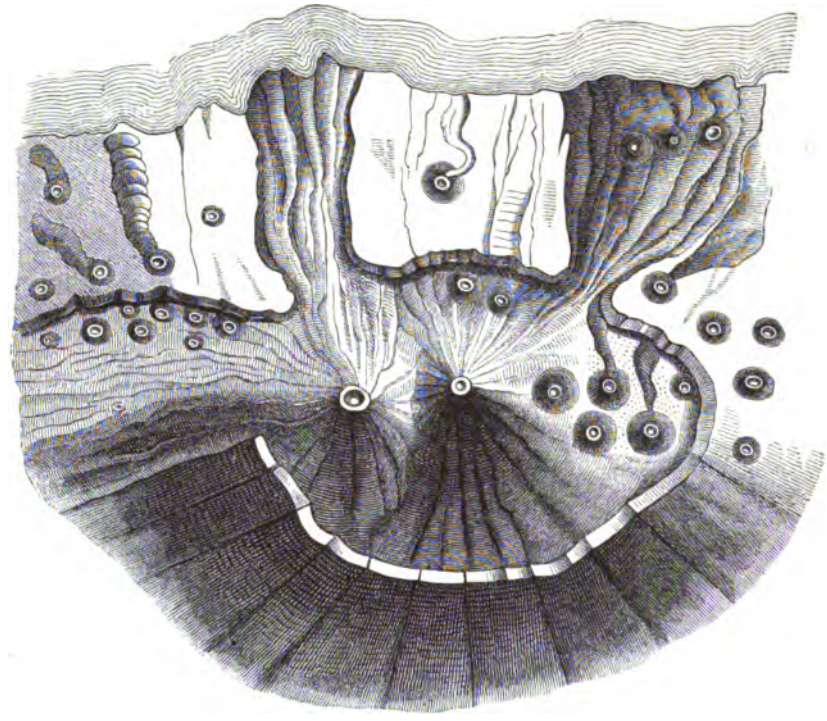
Von weit größerer Bedeutung sind die Inseln, die westlich von Afrika zwischen 14 und 40° nördlicher Breite liegen; es sind die weit in den Atlantischen Ozean vorgeschobenen Azoren, die Madeiragruppe, die Kanaren und die Kapverden. Unter diesen ist Madeira vollständig erloschen; Diabas scheint die Grundlage der Insel zu bilden, auf welcher die vulkanische Thätigkeit, nach dem Vorkommen im Tuffe eingeschlossener Miocänfossilien zu urteilen, weit in die Miocänzeit zurückreicht. Mehrere wohlerhaltene Krater und frisch aussehende Lavaströme bezeugen die Fortdauer von Ausbrüchen bis in eine junge Zeit, doch hat seit der Okkupation durch die Europäer keiner stattgefunden.

Die Azoren enthalten auf den Inseln San Miguel, Terceira, Pico, Fayal und San Jorge thätige Krater, und außerdem ist die Gruppe namentlich durch das häufige Vorkommen submariner Ausbrüche in der Nähe von San Miguel und zwischen dieser Insel und Terceira bemerkenswert, von denen der letzte im Jahre 1867 stattgefunden hat. Häufig entstehen bei diesen Gelegenheiten neue Inselchen, die aber immer sehr rasch wieder verschwinden; am bekanntesten ist die Eruption, welche im Jahre 1811 die Insel Sabrina aufschüttete. Im ganzen Typus ihrer Entwickelung schließen sich die Azoren nahe an die Kanaren an, doch ist das Studium der Erscheinungen durch die sehr dichte Vegetation wesentlich erschwert.

Weitaus am besten sind die Kanaren bekannt, die seit den epochemachenden Untersuchungen L. von Buchs geradezu ein klassisches Terrain für das Studium der Vulkane geworden sind. Die Gruppe besteht, abgesehen von einigen kleineren, aus sieben größeren Inseln: Ferro, einer

noch wenig ſtudierten Baſaltinſel, Palma, dem ebenfalls ſehr wenig bekannten Gomera, Teneriffa, Gran Canaria, Fuerteventura und Lanzarote. In der Anordnung dieſer Inſeln kann man erkennen, daß die beiden zuletzt genannten eine ungefähr von Südweſten nach Nordoſten verlaufende Reihe mit zahlreichen in dieſer Richtung geſtellten Kratern darſtellen; ob auch Gran Canaria, Teneriffa und Ferro eine ſolche bilden, wie es nach der Lage auf der Karte plauſibel erſcheint, läßt ſich nicht ſicher behaupten. Seit der Beſiedelung durch die Spanier haben Teneriffa, Palma und Lanzarote Ausbrüche gehabt.

Die Inſel Teneriffa beſteht in der Hauptſache aus einem gewaltigen Vulkan, dem 3710 m hohen Pik, zu dem ſich das Land von allen Seiten emporhebt. Unter einem Winkel von 10—14°



Ältere Modellanſicht des Piks von Teneriffa.

ſteigen die Abhänge bis zu einer ſehr bedeutenden Höhe, wo ſie einen rieſigen alten Krater tragen, eine Somma, die nach der einen Richtung 2, nach der anderen 1½ geogr. Meilen im Durchmeſſer hat. Auf der Südhälfte iſt der größte Teil des Ringwalles ſtehen geblieben, auf der Nordhälfte dagegen ſind einige Breſchen in ihn gelegt, durch welche Lavaſtröme in die Tiefe gefloſſen ſind; auf der Außenſeite dieſes älteren Kegels ſind vielfach paraſitiſche Krater aufgeſetzt, ähnlich denjenigen des Ätna, aus welchen ſich Lavaſtröme ergoſſen haben. Innerhalb dieſes alten elliptiſchen Kraters erhebt ſich der Pik, „ein Gebirge über einem Gebirge. Erſt wenn man in die Zirkusumwallung eintritt, darf man ſagen, daß man den Fuß des Piks und das, was ihn vor anderen Bergen auszeichnet, wirklich betrete. Alles übrige, ſo hoch es auch ſein mag, ſcheint nur eine äußere Bekleidung, welche zum Pik weſentlich nicht gehört. Die Bimsſteinfelder am Abhang des Kegels werden ſo groß und ſo mächtig, daß der ganze Berg in der Ferne mit Schnee bedeckt zu ſein ſcheint. Schwarze Obſidianſtröme ziehen ſich wie Bänder vom Gipfel über dieſe Bimsſteine herunter, einige bis an den Boden des Zirkus, andere nur bis auf die Hälfte der Höhe, und dort bleiben ſie hängen, andere bloß ſo weit, daß ſie nur eben noch am Gipfel

durch ihre Schwärze auf der weißen Fläche hervortreten. Man versinkt in die lockeren Massen, kein Baum, kein Gras haftet darin." (L. von Buch.) Der Gipfel trägt einen etwas über 1/2 km im Durchmesser betragenden Krater, in den man sehr gut gelangen kann; außer dem eigentlichen Pik stehen, abgesehen von kleineren Bocche, noch zwei beträchtliche Eruptionskegel innerhalb der Umwallung des großen Ringwalles, die Montaña Blanca und der Pico Viejo oder Chahorra, von denen der letztere einen weiteren Krater und gewaltigere Obsidianströme trägt als der Pik selbst (s. Abbildung, S. 27).

Ein ganz anderes Bild bietet die Insel Palma, welche zwei wichtige technische Ausdrücke für die Vulkanologie geliefert hat, die Namen Caldera und Baranco, ähnlich wie die Bezeichnungen Somma und Solfatara der Gegend von Neapel entnommen sind. An dem Aufbau von Palma sind nicht nur jungvulkanische Gesteine beteiligt, sondern als die Grundlage der Insel treten Massengesteine von vermutlich höherem Alter auf, Diabase, über denen sich die jungvulkanischen Bildungen erheben. Die Insel hat eine keilförmige Gestalt, das breite Ende wird durch ein eigentümliches Kratergebirge, die Caldera, gebildet, das spitz auslaufende Ende durch einen langgestreckten, steilen Bergkamm, die Cumbre Vieja, welche zahlreiche Eruptionskegel trägt und durch einen niederen Rücken mit der Caldera zusammenhängt. Am Südende der Cumbre, am spitzen Winkel der Insel, steht der 728 m hohe Vulkan, aus dem sich die letzte Eruption auf Palma im Jahre 1669 ergoß.

Das Calderagebirge ist der Rest eines riesigen Kraterkegels; der Gipfel fehlt, und an seine Stelle ist ein gewaltiger, breiter und tiefer Kessel eingesenkt, die Caldera. Der Bergrand, welcher diese Einsenkung umgibt, ebenfalls Cumbre genannt, erhebt sich auf der Nordseite zu einem 2511 m hohen Gipfel, und auf der Südseite erreicht die Umwallung 2095 und 2133 m Höhe, während der Grund der Caldera zu nicht 700 m über dem Meeresspiegel angegeben wird, so daß diese von 1200—1600 m hohen Wänden umgeben ist. In diesen riesigen Kessel führt nur eine enge, von tobenden Wildbächen durchbrauste Schlucht, der Baranco de las Angustias oder Gran Baranco. Die Umwallung der Caldera besteht aus normalem vulkanischen Material, der Rand und die Abhänge desselben tragen parasitische Krater, welche Laven in die tiefer gelegenen Teile der Insel und bis ins Meer gesandt haben. Ganz eigentümlich gestalten sich die Verhältnisse, wenn man durch den großen Baranco ins Innere der Caldera vordringt. Anfangs überschreitet man lauter jungvulkanische Produkte, aber indem man mehr ins Herz des Berges eindringt, kommen unter denselben Diabase, Hypersthenite und ähnliche Massengesteine von älterem Typus in einem furchtbar zerrütteten und zerrissenen Zustand zum Vorschein; zahllose Gänge durchsetzen das Gestein, so daß unter der Menge derselben die durchbrochene Felsart oft fast verschwindet. Die Massen treten auch im Boden der Caldera selbst hervor, während die umgebenden Steilwände wieder jungvulkanisch sind. Das Innere der Caldera ist von tiefen Schluchten durchfurcht, die auch in die nach innen gerichteten Abstürze der Cumbre eingreifen.

Die Entstehung dieses gewaltigen, 1 1/2 geogr. Meile im Durchmesser haltenden und 1600 m tiefen Kessels hat zu sehr vielen Diskussionen Anlaß gegeben. L. von Buch hat die Caldera mit der umgebenden Cumbre als eins der ausgezeichnetsten Beispiele eines Erhebungskraters bezeichnet; die Verhältnisse desselben haben ihn sogar ganz wesentlich zur Aufstellung seiner Theorie veranlaßt, und es ist von großem Interesse, die Resultate zu hören, zu welchen er gelangt: „Der Blick von der Höhe der Caldera ist nicht weniger groß als der unten im Inneren. Man übersieht die entsetzliche Tiefe in ihrem ganzen Umfang, Abgründe, wie sich wenige ihresgleichen auf der Erdfläche finden. Die Mitte der Caldera liegt 2257 Fuß hoch, wenig höher ist der Fuß der senkrechten Felsen; daher bilden sie bis auf die Höhe mehr als 4000 Fuß hohe Abstürze. Wo fände man wohl so leicht ähnliche wieder? Oder auch dann, wo wären sie

als riesenmäßige Kesselumgebung, in welcher gegenüberstehende Felsen stets lehren, was man unter den Füßen nicht sieht! Einzelne Rücken treten am Rande scharf aus der Umgebung hervor, und an ihnen läßt sich deutlich die Zusammensetzung des Ganzen übersehen; alles, soweit man herunterſieht, sind Schichten von festem Basalt mit mächtigeren aus Tuff und Gerölle und Schlackenstücken dazwischen. Diese Schichten neigen sich oben am Rande sehr stark nach außen hin und immer weniger, je tiefer sie kommen, so daß sie auf der Nordseite nach Norden abfallen, südlich hin gegen Süden. Auch hier möchte man noch immer glauben, daß die große Menge von basaltischen Gängen, welche überall von der Höhe bis in die größte Tiefe fortsetzen, die Bänder bilden, wodurch Schichten von so zerfallenden Massen in dieser kühnen Lage aufrecht erhalten werden. Sie stehen größtenteils senkrecht oder neigen sich, nur wenig von der senkrechten Linie entfernt, nach verschiedenen Richtungen. Aber sie durchsetzen sich nicht so häufig wie unten im Baranco. Der äußere Abhang um die Caldera ist wie gedreht von oben bis zum Ufer des Meeres. Man sieht den Einschnitt der (kleinen) Barancos[1] nicht oder nur als wenig auffallende Spalten, und andere Erhebungen zeigen sich nirgends über der gleichmäßig abfallenden Fläche. Dieses ist eine sehr merkwürdige Erscheinung, und sie wird es noch mehr, wenn man die Barancos, welche in so unglaublicher Menge vom Gipfel sich gegen den Fuß hinabziehen, untersucht oder nur auf der Karte der Insel überblickt. Man kann ihnen ganz nahe stehen und sieht sie nicht, ahnt sie oft gar nicht eher als bis zum letzten Fußtritt am Rande. Dann steigt man an senkrechten Felswänden 400 oder 500 Fuß hinunter und ebensoviel in die Höhe. Oben, kaum eine Viertelstunde weit, erscheint ein neuer Baranco, gleich tief und senkrecht umgeben, dann wieder und immerfort, so daß kaum die Wohnungen auf der Fläche Raum finden. Wasser läuft in den Barancos gar nicht, außer in der Regenzeit im Winter, oder wenn der Schnee auf den Bergen schmilzt. Die Wege in mäßiger Höhe über dem Meere werden durch diese unaufhörlichen Unterbrechungen, durch das fortgesetzte mühsame und doch wenig weiter bringende Auf- und Absteigen so beschwerlich, daß die Bewohner es jederzeit bei weitem vorziehen, von Santa Cruz die ganze Höhe bis zur Caldera hinauf- und dann im weiten Bogen am Baranco (nämlich am Gran Baranco) herabzusteigen, als den viel kürzeren Weg durch so viele tiefe Barancos zu verfolgen. Diese gehen alle vom Rande der Caldera wie von einem Mittelpunkt aus, aber auch nur so weit, als diese Caldera sich erstreckt. Sobald die Cumbre sie verläßt, abfällt und zur Südspitze der Insel zuläuft, werden die Barancos selten, und tief sind sie dann nur am Rande des Meeres.

„Kaum würden diese Erscheinungen schöner ineinander greifen können, um zu einer gemeinschaftlichen Ursache zu führen. Was ist die Caldera anders als die gewaltige Esse, der Erhebungskrater, durch welchen das entwichen ist, was die ganze Insel aus dem Grunde der See über die Oberfläche erhoben hat! Deswegen neigen sich die Schichten wie der äußere Abhang selbst, und oben stärker als unten, und die Oberfläche des neuerhobenen Kegels muß nun am Umfang in unzählige Spalten oder Barancos aufspringen, weil sie sich über einen viel größeren Raum verbreitet als vorher auf dem Boden des Meeeres. Vom Kegel entfernt sind solche Spalten nur selten, weil die Ursache des Aufbrechens fehlt. Hätte sich in der Mitte der Caldera ein Pik erheben können, so wäre ein Vulkan daraus entstanden, ein offener Kanal vom Inneren bis zur Oberfläche hinauf. Im Erhebungskrater fällt aber die gewaltige erhobene Masse wieder zurück und zerstört die versuchte Verbindung.“

Von diesen merkwürdigen Verhältnissen hat man die Bezeichnungen weiter übertragen; allgemein bezeichnet man gewaltige Kesselthäler im Inneren eines abgestumpften Vulkankegels, die

[1] Man muß unterscheiden zwischen dem großen Baranco, der in die Caldera führt, und den kleinen Barancos, tief eingeschnittenen Schluchten, welche auf der Außenseite der Cumbre nach abwärts führen.

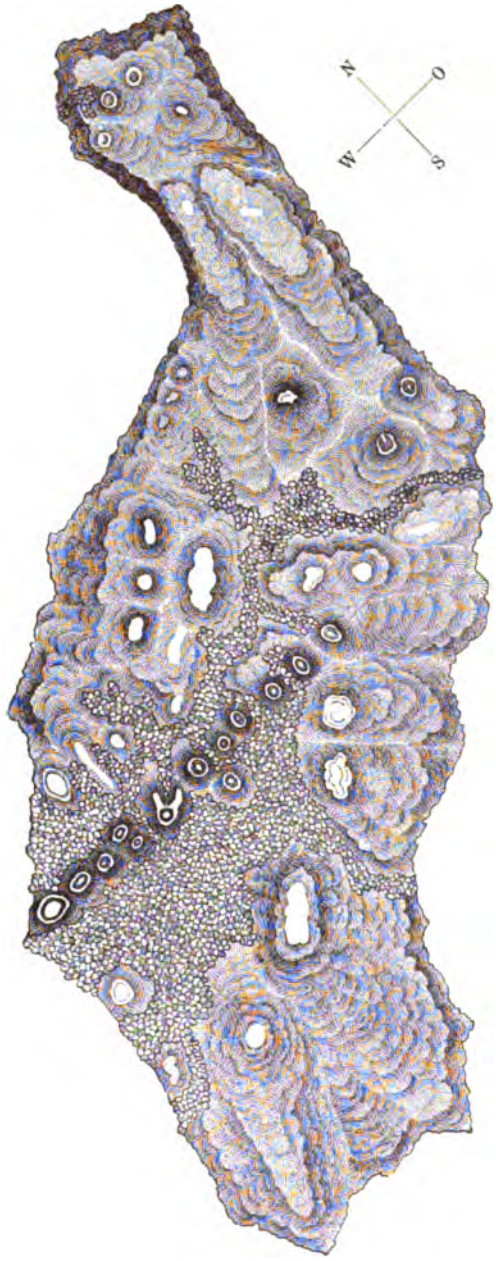
durch eine Schlucht nach außen kommunizieren, als Caldera; der Name der Barancos ist allgemein geworden für jene eigentümlichen Schluchten an Vulkanen, welche von den Anhängern der Erhebungstheorie als Sprünge gedeutet werden, die bei der Emportreibung des Kraters entstanden sein sollen, und ganz speziell werden die Mündungsschluchten der Calderas als Barancos bezeichnet.

Die großartige Auffassung der Caldera durch L. von Buch hat sich als unhaltbar erwiesen, aber trotzdem ist es von großem Interesse, seinem Gedankengang zu folgen. Die Untersuchungen von Reiß und Hartung haben inzwischen gezeigt, daß die ganze Bildung der Caldera und alle Nebenerscheinungen sich sehr einfach aus der Aufschüttungstheorie erklären, und daß für die Annahme einer Hebung kein irgend hinreichender Grund vorhanden ist. Es würde zu weit führen, die Einzelheiten der Deutung und Beweisführung hier darzustellen; wir können nur in den großen Hauptzügen den Vorgang verfolgen. Wie schon erwähnt, bilden den tiefinnersten Kern des Calderagebirges Massengesteine aus der Familie der sogenannten Grünsteine, Diabase, Hypersthenite ꝛc., und diese waren offenbar vor Beginn der Eruptionen vorhanden. Nach der Höhe, bis zu der sie im Grunde des Kessels ansteigen, müssen sie einen Bergrücken von etwa 1200 m Höhe gebildet haben, auf dessen gewölbter Oberfläche die jüngeren Eruptionen stattfanden. Diese schütteten allmählich einen Lava- und Aschenkegel auf, der den Grünsteinberg ganz überdeckte und sich zu gewaltiger Höhe aufbaute; die Cumbre der Caldera ist 2511 m hoch, der Durchmesser des Kraters beträgt $1^1/_2$ geogr. Meile, und wir können daraus mit großer Wahrscheinlichkeit schließen, daß der vollständige Kegel mindestens die Höhe des Piks von Teneriffa erreicht habe. Es muß nun eine Eruption, wie das ja öfters vorkommt, den ganzen oberen Teil des Kegels bis zur Höhe der heutigen Cumbre herab in die Luft geblasen und, ähnlich wie beim Ausbruch des Vesuvs im Jahre 1872, eine Spalte den ganzen Berg von oben bis unten gespalten haben. Damit scheint die Eruptionsthätigkeit wenigstens innerhalb der Caldera aufgehört zu haben. Hätte dieselbe fortgedauert und zwar im alten Zentrum, so wäre ein Mittelkegel entstanden; hätte sich die Haupteruptionsstelle auf den Nordrand der Cumbre verlegt, wo jetzt einzelne parasitische Krater stehen, so hätte der Berg Form und Struktur des Ätna angenommen, statt Caldera und Baranco hätte sich ein Thal wie das Valle del Bove gebildet. So aber war nur die Erosion durch die ablaufenden Gewässer während der Winterregen und der Schneeschmelze thätig, diese durchfurchten den erloschenen Krater mit tief eingerissenen Schluchten, die Wassermassen benutzten den Spalt, der die Kraterwände bei dem letzten Paroxysmus zerrissen hatte, zum Abflusse und gestalteten ihn zum Gran Baranco. Auch die kleinen Barancos auf der Außenseite der Cumbre sind nur durch ablaufende Gewässer eingefurcht worden, sie sind nicht Risse, die bei der Erhebung im Berge entstanden, wie schon daraus hervorgeht, daß sie in ihrem oberen Teile eng und unbedeutend sind und erst nach unten breit und tief werden.

Sehr viel Ähnlichkeit mit Palma hat die Insel Gran Canaria in ihrem Bau; sie hat ebenfalls eine Caldera, welche durch zwei Barancos nach außen kommuniziert.

Wie Palma und Gran Canaria Einem Bildungstypus angehören, so gilt dies auch für die beiden von Südwesten nach Nordosten gerichteten Inseln Fuerteventura und Lanzarote, von denen Lanzarote zuerst von L. von Buch, beide später in sehr eingehender Weise von Hartung untersucht worden sind. Beide sind schon im äußeren Relief sehr verschieden von den übrigen Kanaren, da sie keine Berge von sehr bedeutender Höhe aufzuweisen haben; die höchsten Gipfel auf Fuerteventura erheben sich zu 796 m, auf Lanzarote zu 727 m über dem Meeresspiegel. Auch hier treten Diabase und Hypersthenite als ältestes Gestein auf, innig verknüpft mit Trachyten und Basalten. Die jüngeren Eruptivgesteine sind basaltischer Natur, und unter ihnen kann man drei der Zeit nach aufeinander folgende Basaltformationen unterscheiden. Auf Lanzarote haben die

ältesten dieser Basalte nur Schlackenanhäufungen gebildet, deutliche Krater und Lavaströme fehlen. Eine zweite Periode lieferte Kegel mit Kratern und Strömen, die jüngste endlich umfaßt die Produkte der kolossalen Eruptionen von 1730 bis 1736, welche aus einer langen Reihe geradlinig angeordneter Krater hervorgegangen sind. Fast ein Drittel der Insel wurde in dieser Zeit mit Lavaströmen bedeckt, und der bedeutendste Feuerberg aus jener Zeit, die 533 m hohe Montaña de Fuego, ist auch jetzt noch in gemäßigter Thätigkeit. Diese Reihe jüngster Ausbruchstellen ist darum sehr auffallend, weil sie eine ganz andere Richtung einhält als die Streichungsrichtung der älteren Gesteine; die Haupterstreckung der Insel, die Bergzüge und die sämtlichen älteren Auswurfsöffnungen sind ungefähr von Südwesten nach Nordosten gerichtet, die Schlünde des vorigen Jahrhunderts dagegen stehen genau ostwestlich, also parallel einer Linie, welche man sich durch Ferro, Gomera, Gran Canaria und Teneriffa gezogen denken kann. Auf der ostwestlichen Linie oder Spalte haben sich im Laufe von sechs Jahren nicht weniger als 30 aus aufgeschütteten Lapilli bestehende Kegel, meist von 200—400 Fuß Höhe, gebildet (s. nebenstehende Abbildung).



Die Insel Lanzarote mit der von Westen nach Osten streichenden Reihe der Ausbruchskegel von 1730—1737 und ihren Lavaströmen. (Nach L. von Buch.)

Dieser Ausbruch ist dadurch ausgezeichnet, daß er ungeheure Massen von Laven und verhältnismäßig wenig lose Auswurfsprodukte und, wie es scheint, wenig Wasserdampf hervorgebracht hat. Wohl sind die Kegel aus Steinchen und Schlacken aufgebaut, und Auswürfe großer Mengen solcher werden bisweilen erwähnt; aber weitverbreiteter Aschenregen, die gewaltigen Massen von Auswürflingen, welche sonst die Lavamenge stark zu übertreffen pflegen, fehlen, während die Lava bedeutend vorwiegt und eine Fläche von fast 3 geogr. QMeilen bedeckt hat. Der gleichzeitige Bericht spricht ziemlich wenig von riesigen Dampfsäulen, Aschenwolken, welche die Luft verfinstern und den Tag zur Nacht machen; keine Erdbeben werden erwähnt, und die Lava scheint gerade bei den massenhaftesten Ergüssen sehr ruhig hervorgequollen zu sein. Man wird bei der Schilderung dieser Eruption sehr lebhaft an jene merkwürdigen Massenergüsse aus langen Spalten erinnert, welche in so ausgezeichneter Weise in Island vorkommen. L. von Buch berichtet nach den Aufzeichnungen von Don Andrea Lorenzo Curbeta, der in Yaisa,

einer nahe der Ausbruchstelle gelegenen Ortschaft, Pfarrer war, über den Ausbruch, der 85 Jahre vor seiner Anwesenheit auf den Kanaren begann.

„Am 1. September 1730 brach zwischen 9 und 10 Uhr in der Nacht, zwei Stunden von Yaisa, bei Chimanfaya, plötzlich die Erde auf. Schon in der ersten Nacht hatte sich ein beträchtlich hoher Berg gebildet; Flammen (?) brachen hervor und brannten 19 Tage unaufhörlich fort. Wenige Tage später öffnete sich ein neuer Schlund, wahrscheinlich am Fuße des neugebildeten Eruptionskegels, und eine wütende Lava stürzte sich hervor auf Chimanfaya, auf Rodeo und auf einen Teil der Mancha Blanca. Dieser erste Ausbruch war also östlich von der Montaña de Fuego, etwa auf halbem Wege von diesem Berge gegen Subaco hin. Die Lava lief über die Dörfer hin gegen Norden, anfangs schnell wie Wasser, dann schwer und langsam wie Honig. Aber am 17. September erhob sich mit gewaltigem Donner und Lärm ein ungeheurer Fels aus der Tiefe und zwang den Lavastrom, statt nach Norden, nun den Weg nach Nordwesten und Nordnordwesten hin zu ändern. Die Lava erreichte jetzt und zerstörte mit großer Schnelle die Dörfer Macetas und Santa Catalina im Thale. . . .

„Am 11. September erneuerte sich die Wut der fließenden Lava; von Santa Catalina fiel sie auf Maco, verbrannte und bedeckte gänzlich das Dorf und stürzte sich nun als ein feuriger Katarakt mit gräßlichem Lärm acht Tage lang fort in das Meer. Die Fische schwammen in unbeschreiblicher Menge tot auf der Oberfläche des Wassers oder wurden sterbend ans Ufer geworfen. Dann beruhigte sich alles. Offenbar war die Lava damals trotz ihrer ungeheuern Masse über so viele Dörfer hin und bis zum Meere doch nur aus Einer Öffnung gekommen. Allein am 18. Oktober brachen drei neue Öffnungen unmittelbar über dem verbrannten Santa Catalina auf und stießen dicke Rauchwolken aus, welche sich über die ganze Insel verbreiteten. Mit ihnen ward eine ungeheure Menge von Rapilli, Sand und Asche umhergestreut, und überall fielen dicke Wassertropfen nieder wie von Regen. Das Donnern und Schlagen dieser Ausbrüche, die Finsternis, in welche Asche und Rauch sie einhüllten, vertrieb die erschrockenen Bewohner von Yaisa und der Gegend umher mehr als einmal; aber sie kehrten zurück, da keine weitere Zerstörung die Explosion zu begleiten schien. Am 28. Oktober, nachdem die Erscheinung zehn Tage lang auf die gleiche Weise sich gezeigt hatte, fiel das Vieh in der ganzen Gegend leblos zu Boden, von dem stinkenden Dunst erstickt, der wie Tropfen herabfiel. Am 30. Oktober beruhigte sich alles. Kein Lavastrom scheint diesen Ausbruch begleitet zu haben.

„Aber nur zwei Tage darauf, am 1. November, brachen wieder Rauch und Asche hervor und nun unaufhörlich fort bis zum 20. Auch erschien Lava wieder, aber ohne viel Schaden zu thun, weil schon alles in der Nähe verwüstet, verbrannt und bedeckt war. Am 27. wälzte sich ein Strom mit unglaublicher Geschwindigkeit herab, erreichte am 1. Dezember das Meer und bildete eine Insel im Meere, an welcher die Fische wie an einer Bank tot umherlagen. Am 16. Dezember veränderte die Lava den Lauf, den sie bisher alle Tage zum Meere herab genommen hatte. Sie wendete sich mehr südwestlich, erreichte Chupadero und verbrannte am 17. den ganzen Ort. Dann verwüstete sie die fruchtbare Vega de Ugo, verbreitete sich aber nicht weiter. Am 7. Januar zerstörten neue Ausbrüche alle vorigen wieder. Aus zwei Öffnungen stürzten feurige Lavaströme hervor, und dichter Rauch folgte ihnen nach. Durch den Rauch fuhren in großer Menge rote und blaue glänzende Blitze mit gleichem Donner wie bei Gewittern, welcher für die Umwohner ebenso neu wie erschreckend war, weil sie auf ihrer Insel Gewitter nicht kennen. Am 10. Januar war ein hoher Berg aufgeworfen, der an demselben Tage mit unglaublichem Gepolter in seinen eigenen Krater wieder zusammenstürzte und mit Steinen und Asche die ganze Insel bedeckte. Feurige Bäche von Lava stürzten sich über das Malpays (wüstes Lavafeld) weg bis in das Meer. Am 27. Januar hörte die Eruption auf. Die Berge, welche

sie gebildet hat, stehen wahrscheinlich noch; mehrere nebeneinander mit großen Kratern, auf einer Seite fast bis zum Boden geöffnet, etwa die siebente Gruppe vom Meere her. Wenigstens hat man mir versichert, daß unter diesen 400 Fuß hohen Kegeln das einst große und blühende Santa Catalina gelegen habe.

„Am 3. Februar erhob sich ein neuer Kegel, Rodeo ward verbrannt, und in der Gegend des Dorfes erreichte die Lava das Meer; sie lief bis zum 28. Februar unaufhörlich fort. Am 7. März stiegen andere Kegel auf und warfen Lava ins Meer im Norden von Tingafa, das zerstört ward. Die Kegel erheben sich daher fast regelmäßig von Osten gegen Westen hin, als würde die Spalte im Inneren durch die Ausbrüche immer noch mehr geöffnet und würden diesen dadurch nach Westen zu leichtere Auswege verschafft."

In dieser Weise dauerten die Ausbrüche fort, die Kegel rückten immer weiter nach Westen vor, doch fanden auch dazwischen wieder Eruptionen auf östlicheren Teilen der Spalte statt, die schon früher in Thätigkeit gewesen waren. Als Ende Dezember 1731 die Lava dem Orte Yaisa sehr nahe rückte, verloren die Leute alle Hoffnung, daß die Insel je wieder zur Ruhe kommen werde; sie verließen Lanzarote und flüchteten nach Gran Canaria. Die Bewegungen dauerten auch noch ohne wesentliche Unterbrechung Jahre hindurch fort, und erst am 26. April 1736 hörten sie vollständig auf; seitdem war die Insel ruhig bis auf eine ganz unbedeutende Eruption im Jahre 1824.

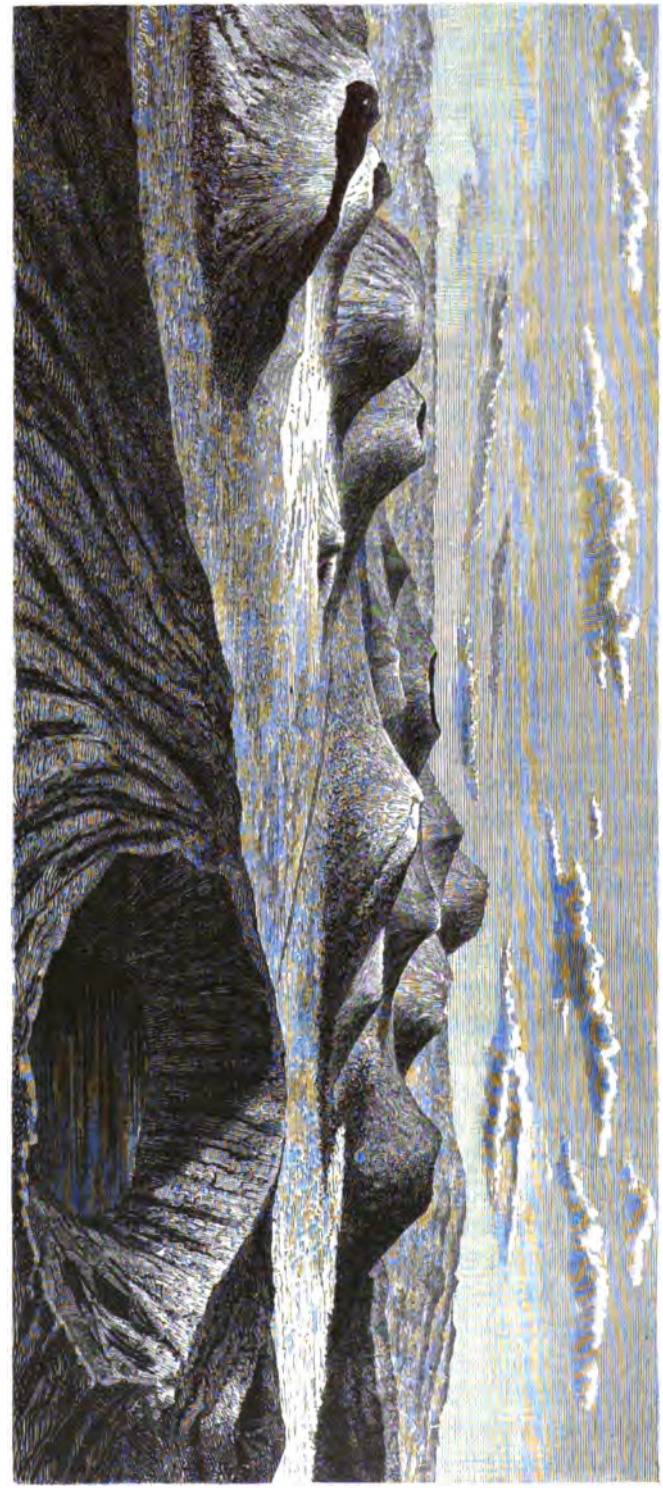
Die Kapverden, welche weiter südlich als die Kanaren liegen, nahe der Mündung des Senegal in den Atlantischen Ozean, hat Darwin zuerst untersucht und neuerdings Dölter eingehenden Untersuchungen unterworfen. Als der wichtigste Punkt des geologischen Baues ist zu bezeichnen, daß die Inseln nicht ganz aus vulkanischen Produkten bestehen, sondern daß außer diesen auch Gneise und andere kristallinische Schiefergesteine, ältere Kalke, ferner Diorite, Syenite und Diabase auftreten, welche die Vermutung zulassen, daß man es in den Kapverden mit Trümmern oder Ruinen eines verschwundenen Festlandes zu thun habe. Einige der Inseln tragen sehr bedeutende Vulkankegel, während andere nie sehr namhafte Eruptionsthätigkeit entwickelt zu haben scheinen. Die einzige Insel Fogo unter den Kapverden hat einen noch jetzt thätigen Krater, alle anderen sind erloschen.

Endlich wird noch berichtet, daß die Loß-Inseln an der Küste von Sierra Leone vulkanisch seien, und etwas weiter südlich soll unter 7° nördlicher Breite und etwa 4° östlicher Länge von Ferro im Jahre 1824 eine submarine Eruption stattgefunden haben.

Auf der Westseite des Atlantischen Ozeans ist nur sehr wenig von vulkanischen Erscheinungen zu erwähnen. Daß das Festland von Amerika auf dieser Seite keine Spur davon zeigt, wurde schon gesagt; abgesehen von der Insel Fernando Noronha, welche unter 3° 50′ südlicher Breite etwa 45 geogr. Meilen von Kap Roque in Brasilien liegt, sind nur die westindischen Inseln zu nennen. Im Jahre 1837 wurde am 24. November eine submarine Eruption auf der Bahamabank beobachtet, insbesondere aber sind als eruptiv bemerkenswert die Kleinen Antillen, jene im Bogen geschwungene Reihe kleiner Inseln, die zwischen dem Festland von Venezuela in Südamerika und Portorico gelegen sind. Von den Inseln Granada, St. Vincent, Ste. Lucie, Martinique, Dominica, Guadeloupe, Montserrat, Nevis, St. Christoph und St. Eustache ist festgestellt, daß sie jungvulkanischen Ursprungs sind, und von St. Vincent, Ste. Lucie, Martinique, Guadeloupe und St. Christoph sind Ausbrüche aus den letzten Jahrhunderten überliefert. Am bekanntesten ist wohl die Soufrière auf Guadeloupe, einer der wenigen Vulkane, von dem angegeben wird, daß er Laven mit ausgeschiedenen Quarzkörnern ausgestoßen habe.

Europäische (außeritalienische) Vulkane.

Dies ist alles, was wir von Vulkanen aus dem Gebiet des Atlantischen Ozeans wissen. Wir wenden uns nun Europa zu und zwar zunächst dem Körper des Erdteils ohne seine Inseln und Halbinseln. Hier treten wir zunächst den erloschenen Vulkanen in Mittel- und Südfrankreich näher; ganz im Süden an der Küste des Mittelländischen Meeres ist bei Agde im Departement Hérault ein nicht sehr bedeutender Eruptionspunkt, und einige weitere finden sich bei Montpellier. Von viel größerer Bedeutung ist jedoch das Zentralplateau von Frankreich mit der großen Menge seiner kratertragenden Kegelberge, die in der Geschichte der Geologie eine so wichtige Rolle gespielt haben, da ihr Studium vor allem die Entscheidung des alten und mit unerhörter Erbitterung geführten Streites über die Entstehung des Basalts herbeigeführt hat. Das Zentralplateau von Frankreich ist ein gegen 1000 m über das Meer sich erhebendes Hochland, das aus ältesten kristallinischen Gesteinen, vorwiegend aus Granit, zusammengesetzt ist. Tertiäre Süßwasserablagerungen sind stellenweise auf ihm ausgebreitet, und außerdem erheben sich über demselben jüngere Ausbruchsgesteine, welche ihrem Auftreten, teil-



Vulkane der Auvergne, vom Puy Chopine aus gesehen. Vgl. Text, S. 212.

weise auch ihrem Alter nach in zwei verschiedene Kategorien zerfallen. Einerseits bestehen einige große Eruptivzentren, deren jedes bedeutenden Raum einnimmt und ein Bergsystem für sich bildet; es sind ältere, der Tertiärformation angehörige große Vulkane, die aber durch Erosion ihre Krater und die äußerlichen Merkmale ihres Ursprungs verloren haben. Anderseits treten an außerordentlich zahlreichen Punkten kleinere Ausbruchstellen auf, welche isolierte Kegel bilden mit großenteils erhaltenen Kratern und Aufschüttungen loser Materialien. Diese Kegel, von denen die meisten, ähnlich den Vorkommnissen der Phlegräischen Felder bei Neapel, nur eine einzige Eruption gehabt haben, sind der großen Mehrzahl nach jünger; einzelne, an denen die Krater verschwunden sind, mögen gleichzeitig mit jenen großen Zentren thätig gewesen sein und in die Tertiärzeit zurückgreifen; aber weitaus die meisten sind nachtertiär, und wir haben die sichersten Beweise, daß der Mensch Zeuge ihrer Ausbrüche gewesen sei, da in einer vulkanischen Breccie und noch bedeckt von einer Lage jüngerer Schlacken am Mont Denise im Vivarais Menschenknochen zusammen mit Resten von Elefanten, Rhinozerossen und Hyänen gefunden worden sind. Nach einem allerdings sehr zweifelhaften Bericht hätte sich in der Gegend von Vienne noch im Mittelalter eine Eruption ereignet.

Die wichtigsten Vulkane des mittleren Frankreich sind diejenigen der Auvergne (s. Abbildung, S. 211). Wir finden hier drei der erwähnten sehr großen Vulkanruinen aus der Tertiärzeit: im Norden das höchste dieser Gebirge, den 1890 m hohen Mont Dore, aus Trachyten und Basalten bestehend; südlich davon den Cantal, nicht ganz so hoch (1861 m), aber von viel bedeutenderem Umfang; endlich noch weiter im Süden die dritte und kleinste Masse, den Canton d'Aubrac. Diese Reste tertiärer Eruptionen sind hier für uns nicht von Bedeutung, da wir nur die jüngsten Ausbrüche verfolgen, und in diese Kategorie gehört eine Reihe kleinerer Kegelberge, dort als „Puy" bezeichnet, die sich nordöstlich vom Mont Dore zu einer nordsüdlich verlaufenden Doppelreihe anordnen. Hier stehen etwa 40 gut charakterisierte, teils basaltische, teils trachytische Krater, von denen manche sehr bedeutende Lavaströme geliefert haben. Außerdem treten auch Kuppen auf, welche keine Krater mehr führen. Dieselben sind offenbar die ältesten, vermutlich in die Tertiärperiode zurückreichenden Ausbruchstellen des Gebiets, welche die aus losen Auswürflingen gebildeten leichter zerstörbaren Teile im Laufe der Zeit durch Erosion verloren haben; Puy de Dôme ist der bedeutendste Vertreter dieser Kategorie. Manche der Krater sind am Fuße aufgebrochen und haben aus dieser Lücke Lavaströme ergossen; andere sind jetzt mit Wasser angefüllt und umschließen prachtvolle Kraterseen.

Die vulkanische Thätigkeit fand in der Auvergne, im Gegensatz zu allen bisher betrachteten und überhaupt zur bedeutenden Mehrzahl aller Fälle, in ziemlich beträchtlicher Entfernung vom Meere statt; es werden die Süßwasserbecken, welche sich während der jüngeren Tertiärzeit hier befanden, als ein Ersatz dafür betrachtet. Für die tertiären Vorkommnisse mag diese Auffassung auch Berechtigung haben, dagegen ist es sehr unwahrscheinlich, daß diese Wasserbecken auch während der späteren Eruptionen noch vorhanden waren. Übrigens müssen wir berücksichtigen, daß die Entfernung vom Meere immerhin nicht größer ist als beim Popocatepetl und kleiner als beim Vulkan von Tolima in Amerika.

Östlich von dem klassischen Gebiet der Auvergne liegt noch eine tertiäre Vulkanruine, der Mezène, und die jungen Krater der Landschaften Velay und Vivarais, die über 100 Auswurfsöffnungen aufzuweisen haben.

Weit bescheidener als in Frankreich treten in Deutschland Spuren einer jungen Ausbruchsthätigkeit auf. Tertiäre Eruptivgesteine sind sehr verbreitet, namentlich in einer breiten Zone, die sich vom Rhein über den Westerwald, Vogelsberg und Rhön und weiterhin bis gegen Koburg erstreckt. In der Fortsetzung dieser Zone liegen die mächtigen Basalte, welche in

Böhmen den Fuß des Riesengebirges begleiten und sich von da nach Schlesien fortsetzen; aber die Ausläufer, welche noch in nachtertiärer Zeit in Thätigkeit waren, sind nicht sehr erheblich. Weitaus die größte Bedeutung haben diejenigen Vorkommnisse, welche in der westlichen Fortsetzung des genannten Zuges jenseit des Rheins in der Eifel auftreten. Es sind zwar zum großen Teil nur die ersten Anfänge, man könnte sagen schwache Versuche der Vulkanbildung; aber gerade darauf beruht das Interesse derselben, indem sie uns an einfachsten Fällen Vorgänge zu studieren erlauben, deren kleiner Maßstab alle Verhältnisse viel leichter überblicken läßt als da, wo gewaltige Massen, Heftigkeit und Komplikation der Ereignisse nur zu leicht verwirren.

Die Eifelvulkane stehen auf dem weiten Gebiet uralter, der Devonformation angehöriger Sedimentbildungen, welche in jenem Teil der Rheinlande eine große Verbreitung besitzen. In räumlicher Beziehung treten die hierher gehörigen Eruptivpunkte in zwei Gruppen auseinander: die Eifelvulkane im engeren Sinne und jene des Laacher Sees. Die ältesten Eruptionen gehen in die Miocänzeit zurück, die Hauptmasse derselben ist aber weit jünger, sie sind großenteils später gebildet als die Thalläufe, und manche Produkte liegen auf diluvialem Löß, ja auf noch jüngerem Schotter auf. Eine größere Anzahl schöner Vulkankegel mit ausgezeichneten Kratern, zum Teil auch mit Lavaströmen, sind erhalten, so der Mosenberg bei Brettenfeld, der Firmerich bei Daun, der Vulkan von Gerolstein, der Bellerberg, Herchenberg, der Roderberg bei Rolandseck und viele andere. Aber nicht in ihnen liegt das Hauptinteresse der Eifel; dieses ist vielmehr durch eine eigentümliche Bildung, durch die sogenannten Maare, gegeben, welche in keinem anderen Gebiet der Welt so deutlich hervortreten. Wir lernen hier die allereinfachste Form einer Eruptionsöffnung kennen: kraterähnliche Kessel, welche unmittelbar in die alten Sedimentschichten, meist in die Thonschiefer der Devonschichten, eingesenkt sind. Die Wände des Kessels bestehen stets aus dem festen, anstehenden Gestein, manche haben um die Öffnung herum einen niedrigen Kranz von Schlacken, bei anderen sind nur Fragmente des durchbrochenen Schiefers oder Sandsteins angehäuft, anderen fehlt jede derartige Umgebung. Die meisten von ihnen haben sich mit Wasser gefüllt und bilden jetzt Seen. Das größte Maar ist der Laacher See, von dem übrigens nach der Ansicht mancher Geologen der Lavastrom von Niedermendig ausgegangen sein soll. Er hat einen Flächenraum von 1/6 QMeile und ist großenteils von Devonbildungen und darauf liegenden Braunkohlenschichten, teilweise aber auch von Schlacken und Tuff umgeben, die dem Löß aufliegen. Andere Maare haben kleinere Dimensionen; zu den bedeutendsten gehören das Pulvermaar, das Gillenfelder und Weinfelder Maar, die Maare von Ülmen, Daun, Moorbruck, Meerfelden ꝛc. bis herab zur „Hütsche", die nur wenige Fuß im Durchmesser hat. Die Entstehung der Maare wird in der Regel und wohl mit Recht vulkanischen Eruptionen zugeschrieben, bei welchen keine Lava austrat und Gasexplosionen die fast ausschließliche Bethätigung bildeten; es sind Explosionskrater, welche eine sehr geringe Menge von losen Auswürflingen ausgeschleudert haben, so daß sich nicht nur kein namhafter Kegel aufbauen konnte, sondern daß auch vielfach die wenigen aufgeschütteten Produkte wieder spurlos verschwanden.

In größerer Menge haben die Eifelvulkane Bimsstein ausgeworfen, der sich über sehr weite Strecken verbreitete. Ein sehr eigentümliches Produkt bildet der sogenannte Traß, eine Art Tuff, der in der Umgebung des Laacher Sees, namentlich im Brohlthal, im Gebiet der Nette ꝛc. mächtige Ablagerungen zusammensetzt und als treffliches Material zur Zementfabrikation verwendet wird; es ist ein dem Bimssteintuff verwandtes Gestein, eine gelbe oder graue, erdige Masse, die viele Bimssteinstücke, oft auch Fragmente von Thonschiefer, Basalt oder auch Kristalle von Sanidin, Hornblende, Augit ꝛc. einschließt. Wir haben es hier aller Wahrscheinlichkeit nach mit alten Schlammströmen zu thun, welche die Thäler ausfüllten und nun von den Flüssen ihrerseits wieder durchschnitten werden.

Wie das westliche Ende der mitteldeutschen, so ist auch das Westende der nordböhmischen Basaltentwickelung durch jüngere Ausbruchsthätigkeit ausgezeichnet, wie sie schon Goethe am Kammerbühl bei Eger erkannt hat. Auf Glimmerschiefer ist dort ein Schlackenkegel aufgehäuft, und viele basaltische Bomben zeugen von explosiver Thätigkeit. In Österreichisch-Schlesien treten drei Vulkankegel auf, der Rautenberg, der Köhlerberg und der Vulkan von Messendorf.

Die Santoringruppe im Ägeischen Meer. (Nach Fouqué.) Vgl. Text, S. 215.

In Ungarn finden sich am Südrande der Karpathen ungeheure Massen tertiärer Trachyte, doch ist kein Anzeichen nachtertiärer Thätigkeit vorhanden. Aus Siebenbürgen dagegen sind einige trachytische Krater, teilweise noch mit schwacher Solfatarenthätigkeit, bekannt.

Bedeutend mehr erloschene Vulkane als der Rumpf von Europa weisen die Inseln und Halbinseln des Mittelmeeres auf. In Spanien hat die Umgebung der Stadt Olot in Katalonien etwa 14 erloschene Krater; im südöstlichen Spanien, zwischen Kap San Martin bei Cartagena bis Cabo de Gata bei Almeria, stehen längs der Küste mehrere erloschene Kegel mit

teilweise gut erhaltenen Kratern; endlich bestehen die Columbrete-Inseln bei Valencia aus erloschenen Kratern mit durchbrochenen Ringwällen. Weiter im Osten folgt die Insel Sardinien, die namentlich im Monte Ferru einen gewaltigen erloschenen Vulkan trägt; dann schließen sich die Vulkane der italienischen Halbinsel und der unmittelbar benachbarten Inseln an, deren Natur wir schon eingehend besprochen haben.

Das Gebiet des Jonischen und Adriatischen Meeres besitzt keine neueren Vulkane, und auch die Balkanhalbinsel hat trotz ihrer bedeutenden Entwickelung tertiärer Eruptivmassen nur eine einzige Ausbruchstelle aufzuweisen, die in historischer Zeit thätig war, nämlich Methana an der nordöstlichen Küste des Peloponnes am Ägeischen Meer. Um so reichlicher finden wir solche in diesem letzteren Becken, das seiner ganzen Breite nach von einer Reihe von Vulkanen durchzogen ist. Tertiäre Eruptivmassen trachytischer Natur beginnen schon am Bosporus; sie nehmen einen Teil der Ufer der Dardanellen ein und finden sich in ungeheurer Entwickelung auf den Inseln und an der kleinasiatischen Küste im nördlichen Teil des Ägeischen Meeres. Hier treten an verschiedenen Punkten, auf Tenedos, Lemnos, Imbros, in der Umgebung von Smyrna bis gegen Tschesme, die Trachyteruptionen überall in Verbindung mit jungtertiären, der Miocänzeit angehörigen Süßwasserkalken auf; dagegen sind Spuren jüngerer Eruptionen in dieser Region bisher nicht beobachtet worden.

Anders verhält es sich im südlichen Teile des Ägeischen Meeres; die Cykladischen Inseln, welche in breiter Doppelreihe als die Häupter eines unterseeischen Gebirges von Attika und Euböa gegen Kleinasien hinüberziehen, scheiden das südliche Becken vom Nordägeischen Meere und bezeichnen eine bedeutsame Grenzscheide in der Entwickelung der Eruptivgesteine. Die miocänen Süßwasserkalke des Nordens treten auch hier wieder auf, aber, soviel man bisher weiß, ohne gleichzeitige Trachyte; hier sind alle Ausbrüche jünger und reichen bis in die Jetztwelt herein. Wie später eingehend gezeigt werden soll, existierte zur Miocänzeit das Ägeische Meer noch nicht; an seiner Stelle war festes Land mit zahlreichen Süßwasserseen. Das südägeische Becken zwischen den Cykladen im Norden, Kreta im Süden, Kleinasien im Osten und Griechenland im Westen bildete sich der Hauptsache nach erst während der letzten Phasen der Tertiärzeit, indem das Land an in die Tiefe gehenden Spalten absank und das Wasser dieses Senkungsfeld okkupierte. Dieses Ereignis trat also so spät ein, daß man sogar im Zweifel sein kann, ob nicht der Mensch schon Zeuge seiner späteren Stadien gewesen sei. Die jüngeren Eruptivmassen halten sich ganz vorwiegend an die Umgebung des nördlichen Randes des nun sich bildenden Beckens, nämlich an die südliche Begrenzung der Cykladenkette. Die geologischen Verhältnisse der Insel Kos lassen den Schluß zu, daß die Eruptionen gegen Beginn des Pliocäns begonnen, aber ihren Höhepunkt erst in nachtertiärer Zeit erreicht haben.

Im Westen beginnen die griechischen Vulkane an der nordöstlichen Küste des Peloponnes mit der Halbinsel von Methana, die noch im Jahre 375 v. Chr. einen Ausbruch hatte; in der Nähe liegen die Inseln Poros und Ägina, dann folgen von Westen nach Osten Belopulo, Kuravi, Falkonera, Antimilos, Milos, Kimolos, Polinos, Polykandros, Antiparos, Santorin, Christiana, Kos und Nisyros.

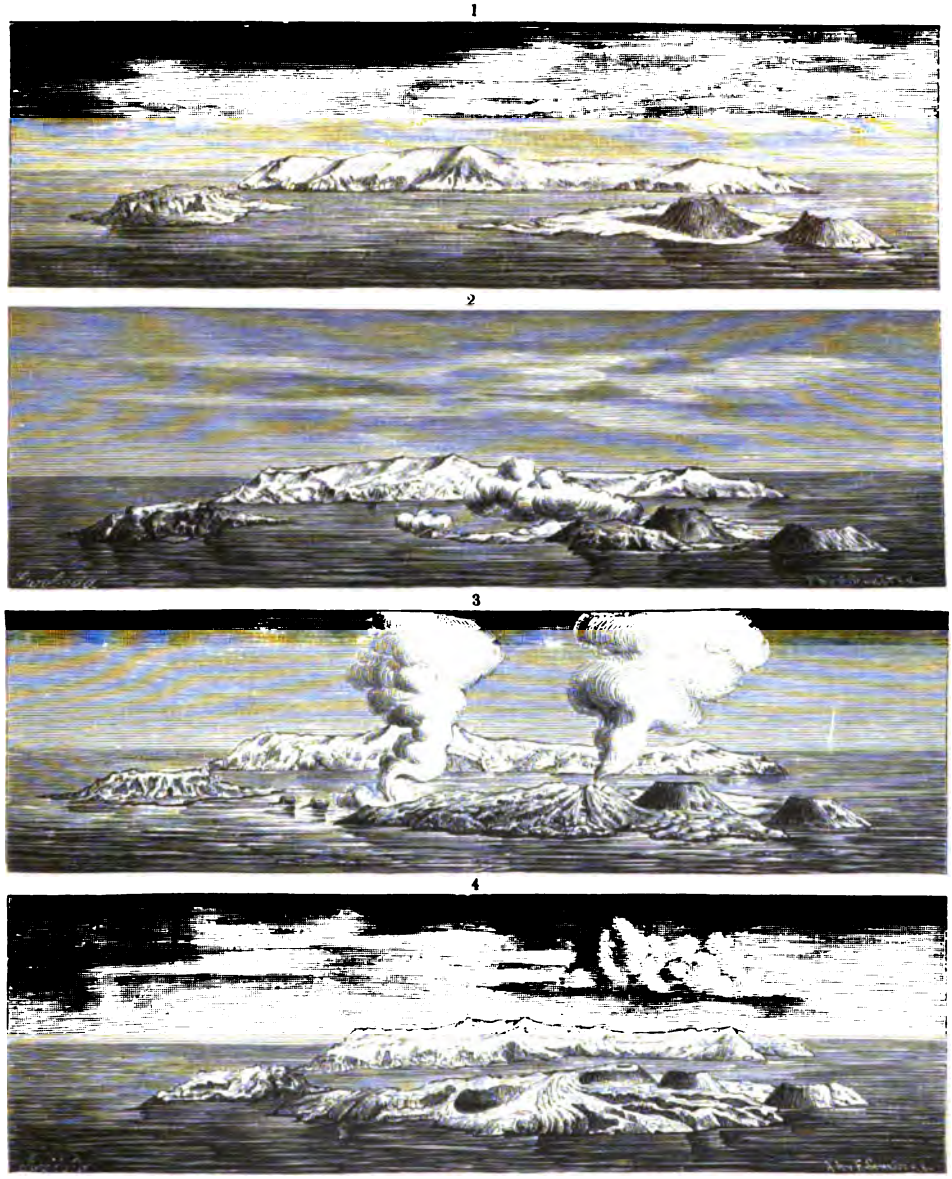
Weitaus der wichtigste unter diesen Punkten und einer der meist genannten und beobachteten Vulkane der ganzen Erde ist Santorin (s. Abbildung, S. 214), das, schon seit langem als ein wichtiger Punkt bekannt, in neuerer Zeit durch den Ausbruch im Jahre 1866 die allgemeine Aufmerksamkeit erregt hat. Der Vulkan von Santorin oder Thera besteht aus einer Anzahl von Inseln; die große, halbkreisförmige Hauptinsel, das bedeutend weniger umfangreiche Therasia und das ganz kleine Aspronisi (Weiße Insel) bilden einen mehrfach durchbrochenen Ring, eine Somma, in deren Innerem mehrere kleinere Inseln liegen: Paläa Kameni, Nea Kameni

und Mikra Kameni („die alte, neue und kleine Brennende") und die winzigen Maioniſi oder Mai-Inſeln. Alle dieſe Inſeln beſtehen ganz aus vulkaniſchen Geſteinen, mit Ausnahme von Thera, das an ſeinem Oſtrand eine den großen Eliasberg aufbauende Partie von kriſtalliniſchen Schiefern und Marmor trägt. Man hat die Zuſammenſetzung der Gruppe in der Weiſe erklären wollen, daß der äußere Ring einen Erhebungskrater bilde, in deſſen Mitte dann die kleineren Inſeln durch Aufſchüttung entſtanden wären; eine genaue Unterſuchung hat aber gezeigt, daß in dem ſogenannten Erhebungskrater einige Lagen von Lava, Aſchen und Schlacken horizontal, andere ſtärker, andere ſchwächer geneigt ſind, was ebenſowenig wie eine Reihe anderer Erſcheinungen mit der Annahme einer Elevation übereinſtimmt. Wir haben es lediglich mit Aufſchüttung zu thun, und die eingehenden Studien der neueren Zeit, welche ſowohl die Nachrichten aus den Schriften des Altertums geſammelt haben, als auch die Erſcheinungen ſelbſt genau berückſichtigen, geſtatten die Geſchichte des Vorganges mit ziemlicher Sicherheit zu rekonſtruieren: Gegen Ende der Pliocänzeit war nur eine kleine, iſolierte, aus Schiefer und Marmor beſtehende Felsinſel vorhanden, der Eliasberg von Thera; noch während des Pliocäns begannen die Eruptionen an einer wenig weſtlich von dieſer Klippe gelegenen Stelle und dauerten vermutlich während des größten Teiles der Diluvialzeit fort. Es wurde ein großer Vulkankegel gebildet, der ſeine Aufſchüttung ſo weit ausdehnte, daß die Felsinſel des Eliasbergs in Zuſammenhang mit demſelben geriet; ſeine Reſte finden wir heute in den drei Fragmenten der Umwallung in Thera, Therafia und Aſproniſi wieder. Dieſer Zuſtand dauerte bis in eine Zeit, aus welcher uns zwar keine geſchriebene hiſtoriſche Urkunde aus jener Gegend erhalten iſt, in der aber ſchon Menſchen auf einem nicht ganz geringen Kulturſtande die Inſel bewohnten.

Wir erhalten hierüber namentlich durch Fouqué Nachricht. Die letzte heftige Eruptionsperiode des großen Kegels, die mit deſſen Zerſtörung endete, wurde, wie es ſcheint, durch Auswerfung ungeheurer Maſſen von Bimsſteinen eröffnet; dieſes Material liegt in vielen der niedrigeren Teile von Thera und Therafia in rieſiger Mächtigkeit und wird zum Zwecke der Zementbereitung in großem Maßſtab gewonnen. Schon lange hatten an gewiſſen Punkten die Arbeiter bemerkt, daß ſich nach unten dem loſen, tuffigen Eruptivmaterial Steinblöcke beimiſchen, welche die weitere Gewinnung beeinträchtigen. Man hatte der Sache jedoch keine Bedeutung beigelegt, bis einige gebildete Einwohner der Inſel, durch die Erſcheinung alter Bauwerke unter der Tuffdecke angeregt, Nachgrabungen veranſtalteten; man fand Reſte von Wohnhäuſern, aus unbehauenen Geſteinstrümmern zuſammengefügt, auf der Töpferſcheibe gedrehte, aber nicht gebrannte Thongefäße, Waffen und Werkzeuge aus Stein. Daß die Einwohner Ackerbau trieben, bewies das Vorkommen von Gerſtevorräten und von Oliven; von Haustieren fanden ſich Reſte von Schafen und Ziegen, und die große Menge von Holz, die beim Bau verwendet war, zeigte, daß reicher Baumwuchs auf der Inſel herrſchte, die heute nur noch einen einzigen Baum beſitzt. Von Metallgeräten wurden nur zwei Goldringe entdeckt, deren Material auf überſeeiſchen Verkehr hinweiſt. Thera und Therafia bergen Reſte ſolcher Dörfer, es war alſo hier in vorhiſtoriſcher Zeit eine namhafte, Ackerbau und Viehzucht treibende Bevölkerung vorhanden, welche durch die folgenden Kataſtrophen vollſtändig vertilgt oder vertrieben wurde.

Nach der großen und vermutlich lange andauernden Eruptionsperiode, die mit der Verſchüttung der prähiſtoriſchen Anſiedelungen durch Bimsſteinauswürflinge begann und mit dem Einſturz des Kegels abſchloß, ſcheint eine ſehr lange Periode der Ruhe eingetreten zu ſein; erſt aus dem Jahre 198 v. Chr. wird von einem Ausbruch im Inneren des Kraterringes berichtet, bei welchem die Inſel Hiera, jetzt Paläa Kameni, aufgeſchüttet wurde. Von da an erfolgten häufiger Eruptionen, welche bald Inſeln bildeten, die wieder verſchwanden, bald Paläa Kameni vergrößerten, wie das im Jahre 726 geſchah, während im Jahre 1457 ein Stück dieſer Inſel wieder

eingestürzt zu sein scheint. Nach 847 Jahren dauernder Ruhe folgte im Jahre 1573 ein neuer Ausbruch, bei welchem sich Mikra Kameni bildete; eine submarine Eruption nahe bei Santorin, aber außerhalb des Ringwalles, erzeugte im Jahre 1650 eine Untiefe, die Columbusbank. Eine



Die Kameni-Inseln: 1) vor der Eruption; — 2) und 3) während der Eruption; — 4) nach der Eruption vom Jahre 1866; im Hintergrunde die Insel Therasia. (Nach Fouqué.) Vgl. Text, S. 218.

überaus heftige und intensive Thätigkeit eröffnete das Zentrum des Ringes im Jahre 1707; fünf Jahre dauerte dieselbe an und bildete die größte der drei im Inneren von Santorin gelegenen Inseln, die Nea Kameni. Dann erlosch wieder alles, bis der 26. Januar 1866 eine neue Ausbruchsperiode eröffnete, deren Höhepunkt zwar schon längst überschritten ist, deren Nachwirkungen sich aber noch immer fühlbar machen. An dem genannten Tage bemerkte man das

Herabrollen von Steinen an dem alten Auswurfskegel der Nea Kameni, Häuser erhielten Risse. Am 30. Januar wurden die Anzeichen energischer, Steine stürzten ab, ein dumpfes Getöse wurde vernehmbar, im Hafen stiegen Gasblasen auf, das Wasser begann zu kochen; am 1. Februar zeigte sich die Südwestseite von Nea Kameni zerklüftet, aus dem Wasser des Meeres schlugen in der Nacht kleine Flammen empor. Das Wasser erhitzte sich, und nahe dem Südwestrand von Nea Kameni erhob sich ein isolierter schwarzer Lavablock aus der Flut; andere gesellten sich zu ihm, es war ein submariner Lavastrom, der sich hier emporhob und eine neue Insel, „Georgios", bildete, die sich aber schon am 5. Februar mit Nea Kameni vereinigte. Um diese Zeit geriet das Meer südwestlich in kochende Bewegung, und auch hier schob sich erst ein Lavablock, dann eine ganze Insel an die Oberfläche, die „Aphroessa", welche sich ebenfalls bald mit der Kameni vereinigte. Am 20. Februar entwickelte der Georgios eine furchtbare Explosion, glühende Lavatrümmer wurden emporgeschleudert, noch eine dritte Insel, „Reka", wurde aufgeworfen, die sich mit der Aphroessa vereinigte, und im Verlauf des Mai 1866 bildeten sich die Mai-Inseln. In wechselnder Heftigkeit dauerte die Eruption jahrelang fort, allmählich sich abschwächend, aber ohne bis heute erloschen zu sein.

Die Abbildungen S. 217 stellen den Schauplatz dieser Ereignisse in verschiedenen Stadien dar; sie sind alle von demselben Standort auf Thera aufgenommen und zeigen im Hintergrunde die langgestreckte Insel Therasia, einen Teil des ältesten Ringwalles. In der obersten Abbildung, welche die Gegend vor dem Ausbruch darstellt, liegt vor Therasia ganz links Paläa Kameni, rechts Nea und Mikra Kameni, hier scheinbar fast zusammenhängend, in Wirklichkeit aber durch einen Meeresarm voneinander getrennt. Auf der zweiten Abbildung sehen wir den Georgios aufgeschüttet und in voller Thätigkeit; die dritte zeigt das noch viel bedeutendere Anwachsen der Nea Kameni und zwischen dieser und Paläa Kameni zwei kleine Klippen, die von Fritsch zuerst erwähnten und benannten Mai-Inseln. Im Bilde vom Jahre 1870 endlich hat sich Nea Kameni so sehr vergrößert, daß die Mai-Inseln verdeckt werden und die drei Kamenen scheinbar zusammenhängen.

Über die anderen griechischen Inseln ist weniger zu berichten; Milos ist nur teilweise aus eruptiven Gesteinen gebildet und befindet sich im Zustande der Solfatarenthätigkeit; auf Kos gibt es mehrere kleine Trachytvorkommnisse, von denen zwei noch schwache Solfatarenthätigkeit äußern, und besonders ist dort ein bedeutender Rhyolithberg, der Zeni, zu nennen, der gewaltige Massen von Bimsstein und Asche ausgeworfen zu haben scheint; wenigstens finden sich auf Kos altdiluviale Meeresablagerungen, die ganz aus derartigem Tuffmaterial bestehen und nach dem Zeni hin gewaltig an Mächtigkeit zunehmen. Nisyros ist ein prachtvoller Vulkan, der sich schwarz aus der blauen Flut erhebt und einen ausgezeichneten Krater trägt; im 15. Jahrhundert soll eine Eruption stattgefunden haben, und zu Anfang der siebziger Jahre unseres Jahrhunderts begann wieder einige Aufregung. Heftige Erdbeben erschreckten die Einwohner namentlich im Jahre 1873, doch hat man nichts von eigentlichen Ausbruchserscheinungen gehört, und nie zeigte sich die Spur einer Rauchwolke am Gipfel. Nach Roß, der den Krater erstieg, befindet sich derselbe in energischer Solfatarenthätigkeit. Die in der Nähe von Nisyros gelegene Insel Yali scheint keine selbständige Eruptionsöffnung zu besitzen, sondern lediglich aus Tuffen aufgebaut zu sein, deren Material von Nisyros oder vom Zeni auf Kos stammen dürfte.

Die Vulkane Asiens, Ostafrikas und des Indischen Ozeans.

Die kleinasiatische Halbinsel hat zwar sehr viele Eruptivgesteine, aber nur wenige jüngere, durchgehends erloschene Krater, welche sich merkwürdigerweise alle fern von der Küste weit im Inneren des Landes befinden. Etwa 15 Meilen östlich von Smyrna ist ein großer Eruptivbezirk mit zahlreichen Kegeln, der schon seit alters den Namen Katakekaumene („das verbrannte Land") führt, aber nur drei Kegel haben deutliche Krater und Lavaströme. Noch weiter östlich, ungefähr in gleicher ostwestlich verlaufender Linie, liegen andere erloschene Vulkane bei Afiun-Kara-Hissar, ferner der 2400 m hohe Hassan Dagh und endlich der 3841 m hohe Argäus oder Erdschjas Dagh.

Von kolossaler Entwickelung sind die trachytischen und basaltischen Gesteine im armenischen Hochland und im Kaukasus. Hier treten im Westen bei Erzerum zwei mächtige Kratergebirge auf, der Bingöl und der Palandokän, von welchen der letztere durch die Teilnahme sedimentärer und altkristallinischer Gesteine am Kraterbau in hohem Grade bemerkenswert ist und, wie S. 171 gezeigt wurde, wesentlich die Anschauungen der Erhebungstheorie zu stützen scheint. Ferner ist der Tandurek zu nennen, ein mächtiger Berg, dessen Krater sich noch heute im Zustande der Solfatarenthätigkeit befindet. Die Umgebung von Kars, das Plateau von Karabagh mit vier Vulkanen, welche Kraterseen bergen und gewaltige Lavaströme entsendet haben, gehört hierher, ferner die Vulkane des Plateaus von Agmangan, vor allen aber der König des armenischen Hochlandes, der Ararat. Der 5604 m hohe Große Ararat war bis ins 15. Jahrhundert thätig und gab gewaltige Lavaströme meist aus den unteren Teilen seines Gehänges von sich; auch der Kleine Ararat ergoß große Lavamassen. Der Kaukasus hat ebenfalls eine große Anzahl bedeutender erloschener Vulkane, unter denen vor allen die zwei höchsten Gipfel, der 5660 m hohe Elbrus und der Kasbek mit 5043 m, durch deutliche Krater charakterisiert sind.

In Persien befindet sich ein gewaltiger Vulkan, der noch jetzt in Solfatarenthätigkeit ist, bisweilen eine Dampfwolke tragen soll und aller Wahrscheinlichkeit nach in historischer Zeit wirkliche Ausbrüche hatte; es ist der, wie es scheint, etwa 6500 m hohe Demawend, der höchste Gipfel des Elburzgebirges, welches den Kaspisee nach Süden einrahmt. Wir haben schon früher (S. 170) diesen merkwürdigen Berg als ein Beispiel eines Vulkans kennen gelernt, der, einer Gebirgskette aufgesetzt, sich über derselben aufbaut, ohne deren Bau im geringsten zu alterieren, und aufs deutlichste zeigt, daß dem Feuerberge keinerlei Einfluß auf die Aufrichtung der Kette oder auch nur eine umgestaltende Einwirkung zukommt. Im Inneren der persischen Hochebene treten an vielen Punkten jüngere Eruptivgesteine auf.

Auf der Ostseite des Kaspischen Meeres wird ein Vulkan von der Halbinsel Mangischlak erwähnt. Weiter im Osten, im Zentrum des asiatischen Kontinents, enthält die Kette des Tienschan Reste erloschener Eruptionen, die von großer Wichtigkeit sind, da sie in ungeheurer Entfernung vom Meere, vom polaren wie vom Indischen Ozean, liegen und keinen großen Binnensee in ihrer Nähe haben, mit dem sie in Verbindung gebracht werden könnten. Der Tienschan stellt den nördlichen Grenzwall jener gewaltigsten Kontinentalerhebung der Erde dar, deren Knotenpunkt das Pamirplateau, „das Dach der Welt", bildet. Seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts gelangten Nachrichten über thätige Vulkane im Tienschan nach Europa, und namentlich seitdem Humboldt nach den Berichten früherer Reisender, nach chinesischen Geschichtswerken sowie nach eigenen Erkundigungen bei Einwohnern benachbarter Bezirke zahlreiche Daten darüber zusammengestellt hatte, nahm man allgemein an, daß jenes Gebirge der Sitz weitausgebreiteter vulkanischer Thätigkeit sei. Aber schon im Jahre 1840 wurde die Nichtexistenz eines dieser Vulkane,

am See von Alakul, nachgewiesen. Im Jahre 1857 zeigte Semenow, daß die angeblichen Feuerberge von Kullok und Katu im Thale des Ili nur auf Erscheinungen beruhen, welche durch brennende Kohlenflöze hervorgerufen sind, und in neuerer Zeit hat Muschketow gefunden, daß die Annahme von Solfataren bei Urumtschi, Turfane und Kukscha auf ebensolchen Verhältnissen basiert ist. Doch macht Muschketow darauf aufmerksam, daß es allerdings noch einen Punkt gibt, dessen vulkanische Natur nicht widerlegt ist, nämlich der Berg Peschan oder Baischan, für welchen auch die chinesischen Schriftsteller positivere Angaben machen als über die anderen Punkte, Angaben, die in keiner Weise durch Annahme eines brennenden Kohlenflözes erklärt werden können: „Baischan stößt fortwährend Rauch und Flammen aus; auf einer Seite brennen alle Steine, sie schmelzen und fließen ein Dutzend Li (1 Li = 575½ m) weit. Die geschmolzene Masse erhärtet bei der Abkühlung. Hier wird auch Schwefel gewonnen." So bestimmt diese Nachricht auf einen Lavastrom zu deuten scheint, dürfte man ihr doch nach den übrigen Erfahrungen, die man mit den Vulkanen des Tiënschan gemacht hat, keinen großen Wert beilegen, wenn nicht neuerdings ein sehr erfahrener Geolog jene Angabe bestätigt hätte: Stoliczka fand bei einer Exkursion, die er nördlich von Kaschgar unternahm, im südlichsten Teile des Tiënschan, etwas südlich vom See Tschatyrkul, einen deutlichen erloschenen Krater. Ebenfalls weit vom Meere entfernt ist ein zweiter Vulkandistrikt in einem weit östlicheren Teile von Asien; in der Mandschurei, 25 km von der Stadt Mergen, am Noni, einem Nebenfluß des Songari, der sich in den Amur ergießt, liegen Vulkane, über deren Ausbrüche chinesische Schriftsteller berichten; die letzte Eruption in jener Gegend soll im Jahre 1720 stattgefunden haben. In der That traf Fürst Krapotkin dort erloschene Vulkankegel mit sehr frisch aussehenden Lavaströmen.

Wir wenden uns einer anderen Region zu: im Inneren von Syrien findet sich südlich und östlich von Damaskus ein sehr ausgedehntes vulkanisches Gebiet, daß im Haurangebirge seine bedeutendste Entwickelung hat, mit weit ausgebreiteten Lavafeldern und einer großen Menge von Ausbruchskegeln. Es kann kaum ein Zweifel sein, daß die Thätigkeit desselben sich noch in nachtertiäre Zeit erstreckte, trotz der vom Meere sehr weit entfernten Lage. Arabien ist reich an Vulkanen; in der Nähe von Medina, also fast 30 Meilen vom Meere entfernt, fand im 13. Jahrhundert eine furchtbare Eruption statt. Vom 15.° nördlicher Breite zieht sich eine Kette von Eruptivpunkten an der Westküste nach Süden und dann an der Südküste hin; speziell die Umgebung von Aden ist reich an Kratern, und die Stadt selbst liegt in einem solchen. Von der Ostküste Arabiens ist das Vorkommen von Bimsstein, Obsidian, an der Straße von Ormus bekannt. Im Roten Meere hatte der Dschebel Tarr im Jahre 1834, die Saddle-Insel 1824 eine Eruption, und beide stoßen noch Rauch aus; ferner sind die Zeybeyar- und Baheme-Inseln sowie Abeilat junge Vulkane, und der ausgezeichnete Hafen der Insel Perim im Eingang des Roten Meeres besteht aus einem großen Krater, dessen eine Seite eingestürzt ist und dem Meere den Eintritt ins Innere des Kessels gestattet. Ebenso ist der etwas südlicher gelegene Golf von Gubet-Harab gebildet.

Das volle geologische Verständnis für diese Ausbruchsstellen hat sich uns erst in jüngster Zeit erschlossen. Die Arbeiten zahlreicher unerschrockener Forscher haben so viele unerwartete und höchst merkwürdige Thatsachen über den Bau von Ostafrika zu Tage gefördert, daß es E. Sueß möglich war, das Vorhandensein einer großartigen meridionalen Grabensenkung in Ostafrika festzustellen, welche bei 6° südlicher Breite über eine lange Reihe abflußloser Seen ungefähr dem 36.° östlicher Länge entlang bis zum Rudolf-See zieht, um von da am Rande des abessinischen Hochlandes eine Ablenkung gegen Nordosten zu erfahren und über Afar die Senkungszone des Roten Meeres zu erreichen. Weiter nach Norden setzt sich der Grabenbruch über das Tote Meer und das Jordanthal bis an den Südrand des taurischen Faltengebirges fort. Wir werden diese

DER KILIMANDSCHARO AUS SÜDOSTEN.

(Nach Dr. Hans Meyer.)

DER KILIMANDSCHARO AUS SÜDOSTEN

Grabensenkung in ihrem Wesen als eine der gewaltigsten Dislokationserscheinungen noch weiter unten zu besprechen haben; an dieser Stelle müssen wir zunächst die Thatsache hervorheben, daß die große ostafrikanische und erythräische Senkung von einer Reihe von Vulkanen und heißen Quellen begleitet ist, ähnlich wie das isländische Senkungsgebiet mit seinem Gefolge von Vulkanen, Thermen und seismischen Erscheinungen.

Die vorhin erwähnten Vulkane am Roten Meere stehen mit dieser Riesenspalte in Verbindung, und wenn wir uns vom Roten Meere dem afrikanischen Kontinent zuwenden, so treffen wir im Küstenstrich von Massaua mehrere wohlerhaltene Vulkankegel, und in der Senkung Afar zwischen dem abessinischen und dem Somalplateau ist das Land weit und breit mit Vulkanen, Schlacken und losen Auswürflingen bedeckt. Hier befindet sich der Vulkan Dubbi oder Vulkan von Edd, dessen Lavastrom zum Meere reicht, und der noch im Jahre 1861 wiederholt Ausbrüche hatte, sowie der ebenfalls noch aktive Ortéale. Weiter landeinwärts finden wir den Solfatarenberg Dosané, den alten Vulkan Bocan und eine Anzahl kleinerer Kegel. Am Hawaschfluß schließen sich die großen Vulkane Harro (3288 m), Dendy (3417 m) und Zuquala (2895 m) an. Im äquatorialen Abschnitt sind jüngere, zum Teil noch aktive Vulkane im Graben selbst aufgeschüttet, wie die zahlreichen Vulkankegel der Höhnel-Insel im Rudolf-See, der thätige Teleki-Vulkan, der Sassua, der Lonongot und der rauchende Doenje Ngai, und diese Ergüsse bedingen mit eine Zerteilung der Grabensenkung in mehrere abflußlose Becken. Der Teleki-Vulkan am Südende des Rudolf-Sees überragt seine Umgebung um 200—220 m, seinem Krater entsteigen unausgesetzt und ruhig schwärzliche, scharf nach Chlor und Schwefel riechende Rauchsäulen. Der letzte Ausbruch scheint vor etwa 15 Jahren stattgefunden zu haben. Außerdem wird die große meridionale Senkung von einer Anzahl von Querspalten geschnitten, und an diesen liegen jene berühmten, zwar nicht mehr ausbrechenden, aber noch sehr wohlerhaltenen ostafrikanischen Riesenvulkane, von denen mehrere die äußerste Höhengrenze erreichen, bis zu welcher irdische Vulkane sich aufzubauen vermögen. Im Norden des äquatorialen Abschnittes ist eine solche Querspalte durch die Vulkanreihe Tschibtscharanya-Elgon-Marsawa, im mittleren Gebiet durch die Reihe Kenia-Settima-Kinangop, im Süden durch die Reihe Djulukegel-Kilimandscharo-Meru-Ethi deutlich angezeigt.

Die gewaltigsten Maße nimmt der 6130 m hohe Kilimandscharo (vgl. die beigeheftete Tafel „Der Kilimandscharo") mit dem Nebengipfel Mawensi (5545 m) an. Bis zu der Höhe von 4300 m haben beide einen gemeinschaftlichen Sockel. Der eisgepanzerte Hauptgipfel Kibo trägt einen großen Krater von ungefähr 2 km Durchmesser und 200 m Tiefe, aus welchem sich ein etwas nach Norden gerückter Aschenkegel 150 m hoch erhebt. Statt Lava läßt der erloschene Krater einen Gletscherstrom durch eine Kraterlücke nach Südwesten austreten. Ungleich stärker denudiert ist der zackige, schroffe Mawensi. Er liegt 5,7 km ostsüdöstlich vom Kibo und stellt offenbar den ursprünglichen Eruptionspunkt dar; durch eine Verlegung des Ausbruchszentrums wurde, wie Thomson angegeben hat, der Kibo geschaffen. In der Einsenkung zwischen beiden Gipfeln tritt eine Reihe von kleineren Aschenkegeln hervor. Auch die Gehänge sind, wie bei allen Riesenvulkanen, mit Adventivkegeln besetzt. Der Kenia erhebt sich zu 5600 m Höhe und hat einen schon stark niedergebrochenen, aber doch noch erkennbaren Krater, der 200—300 m tief zum Kraterboden abfällt.

Westlich vom großen ostafrikanischen Graben befindet sich eine zweite, ungefähr meridionale Senkung, und auch diese enthält in ihrem Grunde eine Anzahl langgezogener Seen, wie den Tanganjika, Albert Edward- und Albert-See. Der Nyassa- und Leopold-See dürften als südliche, etwas gegen Osten abgelenkte Fortsetzung zu betrachten sein. Auch an dieser zentralafrikanischen Bruchzone finden wir zwei Herde vulkanischer Thätigkeit. Am Nordostrande des

Nyassa reichen ältere vulkanische Gesteine am Kondéplateau in bedeutende Höhen, während in der Tiefe nahe dem Nordende des Sees junge Krater gebildet sind. Mächtiger sind die vulkanischen Gestaltungen im Süden des Ngesisees, von welchen wir durch Emin Pascha und Stuhlmann jüngst Kunde erhalten haben. Eine bogenförmige, Mfumbiro, d. h. „der Koch", genannte Gruppe von sechs großen und mehreren kleinen Kegeln nimmt die ganze Breite des Bruchthales ein und hat ihren höchsten Gipfel, den etwa 4000 m hohen Kisigali, ungefähr in der Mitte der Spalte selbst, während auf dem Westrande der etwa 3500 m hohe Virungu vya-gongo aufsitzt, der auch jetzt noch thätig ist.

Die Geringfügigkeit der gegenwärtigen vulkanischen Äußerungen, verglichen mit den riesenhaften Ergüssen und Aufschüttungen der früheren Periode, beweist, daß der Vulkanismus Ostafrikas allmählich dem Erlöschen entgegensieht. Nichtsdestoweniger dürfte die Lehre von den

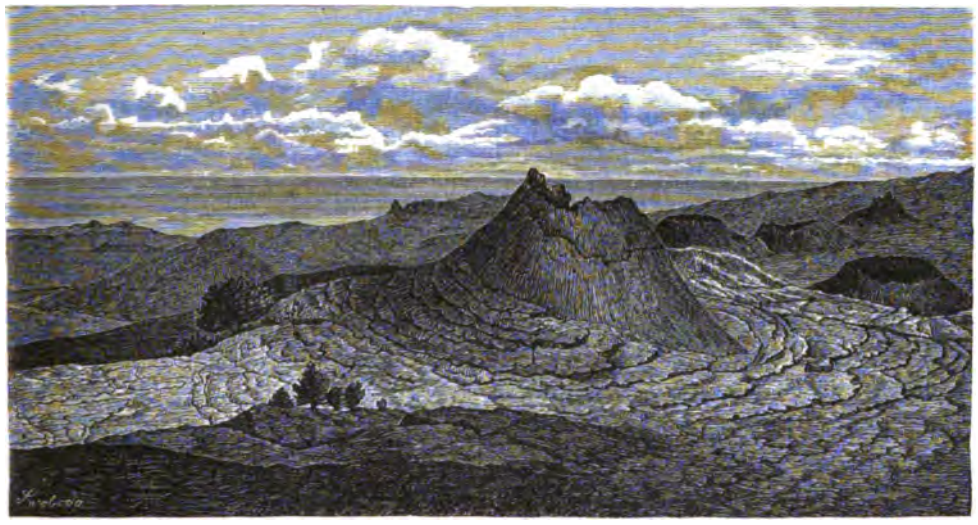
Der Piton de la Fournaise auf der Insel Bourbon. (Nach Belain.)

vulkanischen Erscheinungen aus dieser höchst merkwürdigen Gegend noch mancherlei Bereicherung erfahren, wenn die geologische Kenntnis derselben weiter vorgeschritten sein wird.

Wir gelangen nun zur Betrachtung der Vulkane des Indischen Ozeans und seiner Umrandung. An die Vorkommnisse in Ostafrika schließen sich eine Anzahl von insularen Punkten an, und zwar an die Mosambikküste die Komoren mit zwei thätigen Feuerbergen, dann die erloschene Vulkaninsel Mayotte, endlich Madagaskar. Im nordwestlichsten Teil dieser Insel sind vier thätige Vulkane bekannt und im zentralen Hochland und im südlichen Teil der Insel ausgedehnte Vulkangebiete nachgewiesen. Südwestlich von Antanánarivo befindet sich die aus fünf Kegeln bestehende Gruppe des Ankaratra-Gebirges, deren größter Vulkan die Höhe von 2873 m erreichen soll. Am See Itasy wurden an 40 Krater gezählt, und auch im westlichen Imerina sind zahlreiche Vulkankegel zerstreut. Weiter entfernt von diesem Gebiet liegen die durchaus vulkanischen Maskarenen, deren größte, Bourbon, durch einen mächtigen aktiven Feuerberg ausgezeichnet ist (s. obenstehende Abbildung). Im südlichen Teil des Indischen Ozeans stehen die beiden isolierten Kraterinseln St. Paul und Amsterdam (s. die Abbildungen, S. 177 und 223). Noch weiter südlich liegen die Prinz Edwards-Insel und die Crozet-Gruppe unter 46° südlicher Breite, Kerguelensland unter 48°.

Indem wir uns zu dem nordöstlichen Teil des Indischen Ozeans wenden, treffen wir auf die äußersten Ausläufer des früher erwähnten Kranzes von Feuerbergen, welche den größten Teil des Stillen Ozeans umrahmen. Die vorderindische Halbinsel hat zwar ungeheure Decken von alttertiären Eruptivmassen, den sogenannten Trapp des Dekhan, aber jüngere Vorkommnisse

fehlen hier ebenſo wie in Hinterindien; dagegen ſind ſolche mehrfach im Golf von Bengalen vorhanden. Ein ſubmariner Ausbruch fand an der Oſtküſte Vorderindiens in der Nähe von Pondiſcherri ſtatt. An der Weſtküſte von Hinterindien treffen wir auf den Anfang einer gewaltigen, etwa 750 geogr. Meilen langen Vulkanreihe, die in weitem Bogen Hinterindien und den Südweſtrand der malayiſchen Inſelwelt umſpannt; als nördlichſte Punkte treten vereinzelte Vulkane auf dem Feſtland in Birma im Gebiete des Irawadi auf, deren entlegenſter bei Bhamo ungefähr unter 24° nördlicher Breite liegt. Weiterhin begegnen wir unter 19° 30′ nördlicher Breite den Inſeln Ramri und Tſcheduba mit dem Berge Raguain an der Küſte von Arrakan, von denen die letztere im Jahre 1839 einen Ausbruch hatte; dann folgen unter den Andamanen der erloſchene Vulkan Narcondam (13° 24′ nördlicher Breite) und die ſeit der Zeit L. von Buchs vielgenannte Barreninſel, ein kleiner Vulkan mit kreisförmiger Somma und Innenkegel,



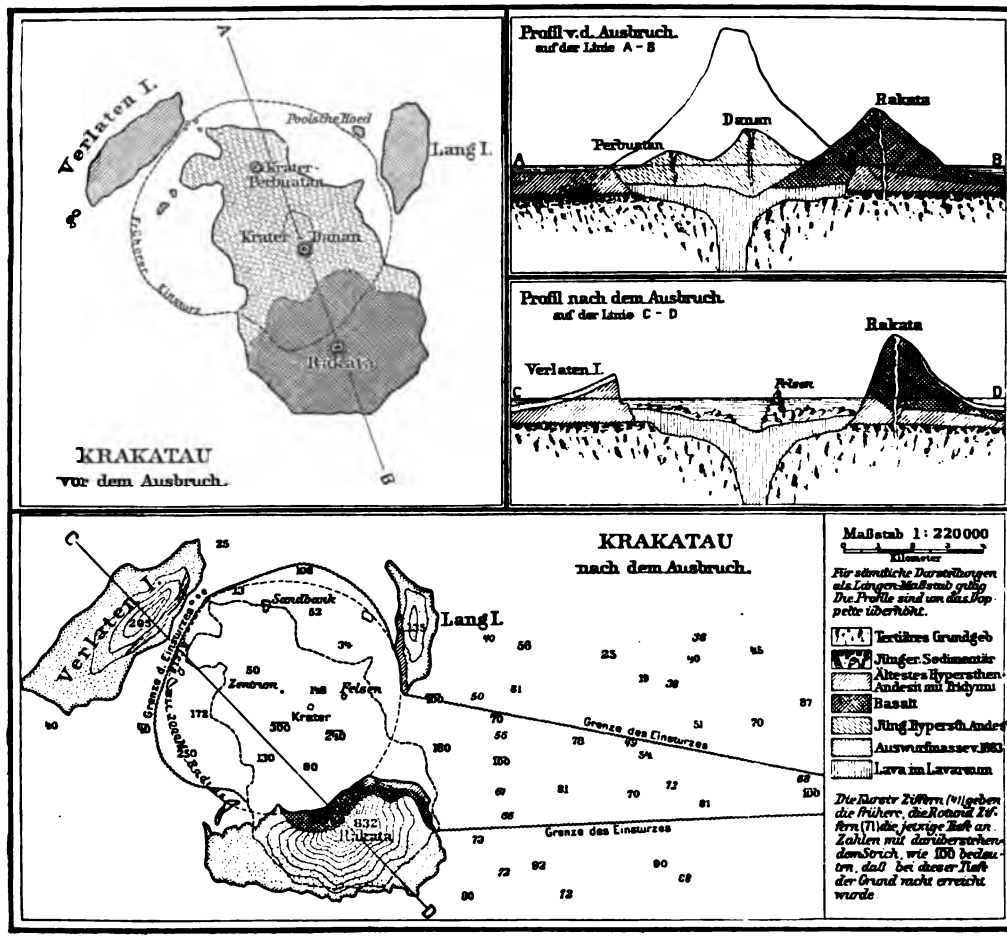
Ein kleiner Krater auf der Inſel Amſterdam. (Nach Belain.) Vgl. Text, S. 222.

welcher zwiſchen 1789 und 1804 beſonders lebhafte Eruptionen hatte. Der Zeitpunkt des jüngſten Lavaausbruches iſt nicht ſicher feſtzuſtellen; ſeit langer Zeit befindet ſich der Krater in gemäßigter, ſtrombolianiſcher Thätigkeit. Der zuletzt geförderte Lavaſtrom ergoß ſich aus dem Krater über den Innenkegel in das Atrium und fand auf der Oſtſeite durch eine tiefe, vielleicht von ihm ſelbſt geſchaffene Senkung der Somma einen Ausweg zum Meer; daher rührt wohl die ältere Beſchreibung, wonach das Meer in das Atrium Zugang haben ſollte. In der weiteren Fortſetzung gelangen wir zu den Großen Sunda-Inſeln, zunächſt zu Sumatra, und hier finden wir eine weſentliche Steigerung der vulkaniſchen Intenſität, welche dann weiterhin auf Java den Höhepunkt erreicht.

Daß die Krater an der Küſte von Arrakan und auf den Andamanen in der That zu der Vulkanreihe der Sunda-Inſeln zu zählen ſind, geht nicht nur aus ihrer geographiſchen Lage, ſondern mit größerer Sicherheit aus dem ganzen geologiſchen Bau jener Gegenden hervor. Das Gebirge von Arrakan beſteht aus einer nordſüdlich ſtreichenden Gebirgskette; dieſelbe iſt weſentlich aus alttertiären und der Kreideformation angehörigen Sandſteinen und Schiefern aufgebaut, die teils in normaler Entwickelung auftreten, teils mehr oder weniger metamorphoſiert ſind und mit Serpentinen in Verbindung ſtehen. Die Andamanen und Nikobaren zeigen dieſelbe Zuſammenſetzung und eine Streichungsrichtung, welche im Norden in der direkten Fortſetzung des

Arrakangebirges liegt, südlich aber in die Richtung von Sumatra umschwenkt, wo wir die Fortsetzung desselben Systems finden. Alle diese Inseln bilden die Stücke eines teilweise untergegangenen Gebirges, dessen Verlauf von den genannten Vulkanen begleitet wird.

Von den 19 Vulkanen auf Sumatra sind 7 thätig, und einige Kraterseen besitzen eine Größe, welche auf der ganzen Erde unerreicht dasteht. In der Sundastraße liegen einige vulkanische Inseln, von denen bis vor kurzem nur bekannt war, daß sie auf einer gemeinsamen



Pläne und Profile vom Krakatau. (Nach Verbeek.)

Spalte stehen, und daß eine derselben, Krakatau oder Poeloe Rakata genannt, vom Mai 1680 bis November 1681 in mäßiger Thätigkeit war. Plötzlich geriet der Krakatau im Mai 1883 wieder in Aufregung, nachdem am 1. September 1880 ein starkes, bis nach Nordaustralien gespürtes Erdbeben das Wiedererwachen der vulkanischen Kräfte eingeleitet hatte. Die ersten nach Europa gelangenden Nachrichten ließen eine Katastrophe von so ungeheuern Dimensionen vermuten, daß sie alle anderen bekannten vulkanischen Erscheinungen weit hinter sich zurückzulassen schien. Allerdings stellte sich allmählich heraus, daß viel davon lediglich auf Übertreibungen der geängstigten Einbildungskraft, ja sogar auf absichtliche Fälschung zurückzuführen sei; aber immerhin bleibt die Eruption eine der gewaltigsten, die wir kennen, und übertrifft durch den Umkreis, in welchem die Detonationen gehört wurden, durch den Betrag an geographischer

Veränderung, die sie hervorbrachte, vermutlich auch durch die Höhe, bis zu welcher die Asche emporgeschleudert wurde, alle übrigen, während sie an Masse der Auswurfsprodukte hinter einigen anderen (Tambora, Conseguina) zurückbleibt.

Bau und Zusammensetzung der Inselgruppe (s. die Karte, S. 230) lassen die geologische Geschichte des Krakatau-Vulkans nach Verbeeck und Judd folgendermaßen erschließen: Ursprünglich erhob sich hier ein andesitischer, mindestens an 2000 m hoher Vulkankegel, welcher durch Aussprengung oder Einsturz entfernt wurde. Verlaaten, Lang-Eiland und die Basis des Rakata sind die über Wasser stehengebliebenen Überreste der hierbei gebildeten ringförmigen Kratermauer. Auf der Südseite der letzteren entstand in einer späteren Periode eine exzentrische Auswurfsstelle, deren langanhaltende Thätigkeit den basaltischen Rakata-Kegel bis zur Höhe von ungefähr 800 m aufgebaut hat (vgl. die Durchschnitte, S. 224). Noch später spielten sich neuerdings andesitische Eruptionen im zentralen Teil des alten Kraters ab, es entstanden die kleineren Kraterkegel Perbuatan und Danan und verschmolzen mit dem Rakata zu einem Ganzen.

Über die Anfänge der furchtbaren Eruptionsperiode des Jahres 1883 liegen keine Nachrichten vor, da die Inselgruppe des Krakatau unbewohnt ist und nur hie und da von Fischern aus Sumatra besucht wird. Die ersten Beobachtungen wurden von Schiffen, welche die Sundastraße passierten, zu einer Zeit gemacht, als die Erscheinungen schon sehr auffallend waren. Am 20. Mai sah man von dem deutschen Kriegsschiff „Elisabeth" aus eine riesige Pinienwolke aus dem Krater aufsteigen, welche nach genauen Messungen die enorme Höhe von 11,000 m erreichte; gleichzeitig fiel trotz der weiten Entfernung Asche auf dem Verdeck des Schiffes nieder. Die Erscheinungen dauerten mehrere Tage und wurden noch von einigen weiteren Schiffen wie auch von Anjer und anderen Punkten an der Westküste der Insel Java gesehen; bis Batavia fühlte man Erdstöße, hörte man Explosionen. Ein leichter Aschenregen fiel nieder, aber die Einwohner wußten noch nicht, von welchem vulkanischen Herde ihnen diese Anzeichen kamen. Am 27. Mai wurde der Krakatau von einer Gesellschaft aus Batavia besucht, und man erkannte nun, daß der ungefähr 300 Fuß hohe Perbuatan im zentralen Teil des alten Kraterwalles die Thätigkeit aufgenommen habe. Alle 5—10 Minuten traten Explosionen ein, die Dampf- und Aschensäule erhob sich zu 2000—3000 m und zeigte nach jeder Explosion einen vermehrten Feuerschein, die Bäume waren von Bimsstein wie mit Schnee bedeckt.

Im Verlauf der nächsten Tage nahmen die Erscheinungen wieder ab, doch scheint bis zum Eintritt der Hauptkatastrophe, Ende August, eine gemäßigte Thätigkeit mit einigen mächtigen Paroxysmen abgewechselt zu haben. Mitte Juni hat eine mächtige Aufregung Platz gegriffen. Am 24. Juni sah man eine zweite Rauchsäule aus einem neuen Krater am Nordfuß des Danan hervortreten, und die von Katimbanz sichtbaren Felsen des Perbuatan waren infolge der fortschreitenden Ausräumung dieses Kraters verschwunden. Am 11. August fand Kapitän Ferzenaar drei Krater neben zahlreichen kleineren, ebenfalls Asche und Dampf produzierenden Ausbruchspunkten in voller Thätigkeit.

Nachdem unter vermehrten Aschenfällen der Einsturz des Danan eingetreten war, brachte der 26. August die große Katastrophe, über die wir allerdings nur das wissen, was von einigen in der Nähe vorbeifahrenden Schiffen und an den Küsten von Java und Sumatra beobachtet werden konnte. Wäre auch der Krakatau bewohnt gewesen, so hätte doch kein menschliches Wesen jene Schreckenstage überlebt, da selbst die Bevölkerung der etwa 20 km entfernten Insel Sebesie vollständig vernichtet worden ist. Der Tag brach klar und heiter an, um 1 Uhr nachmittags begannen furchtbare Detonationen, die bis Batavia und darüber hinaus zu vernehmen waren und in der Nacht sich dermaßen steigerten, daß die Bewohner von Batavia nicht schlafen konnten. Um 2 Uhr nachmittags wurde auf der „Medea", die sich noch in der Sundastraße befand, die

Höhe der Aschenwolke zu 27—33 km gefunden. Gegen Abend fiel leichter Aschenregen in Lampong auf Sumatra; in Anjer und einigen benachbarten Orten der javanischen Küste wunderte man sich, daß unmittelbar nach Sonnenuntergang tiefe Finsternis eintrat. Man hörte einige Detonationen, das Meer wurde unruhig, wobei einige kleinere Fahrzeuge von den Wellen verschlungen oder ans Land geworfen, ein Teil der Ufer vom Wasser überspült, einzelne Dörfer überschwemmt wurden; doch war für den Augenblick der Verlust an Leben und Gütern noch kein sehr großer. Weit heftiger machten sich, wohl infolge der herrschenden Windrichtung, die Wirkungen der Eruption gegen Süden geltend. Dichter Aschenregen überschüttete die Fahrzeuge, dazwischen fielen größere glühende Steinfragmente, und die Menge der Auswürflinge war so groß, daß sie auf dem Verdeck der „Berbice" um 2 Uhr nachts fast 1 m hoch lagen. Undurchdringliche Finsternis herrschte, der Berg donnerte fürchterlich, und unausgesetzt fuhren Blitze nieder. Eine überaus starke elektrische Spannung herrschte in der Atmosphäre, allenthalben im Tauwerk und an den Masten zeigten sich die Flämmchen des Elmsfeuers, „wie feurige Schlangen schossen die Strahlen um den Mast hin". Der Matrose am Steuerruder der „Berbice" war kaum im stande, seinen Platz zu halten, wegen der unaufhörlichen elektrischen Schläge, die er bei jeder Berührung der Metallteile des Steuers erhielt.

Gegen Morgen des 27. August wurde es etwas hell; allein bald trat wieder tiefste Finsternis ein, welche 18 Stunden anhielt. Ungeheure Massen von Asche, die teilweise mit Wasser zu einem zähen, schlammigen Teig zusammengemengt war, von Bimsstein und Schlacken überschütteten die Sundastraße und die angrenzenden Teile von Java und Sumatra; mächtige Sturzwellen ergossen sich seit 6 Uhr morgens über die niedrigen Teile des Landes. Ungefähr um 10 Uhr vormittags trat der Höhepunkt der Katastrophe ein; infolge einer furchtbaren Explosion oder des Einsturzes der Insel Krakatau brandete das Meer rasend auf, eine einem Berge vergleichbare, etwa 30 m hohe Meereswoge eilte landeinwärts, einige weitere folgten; Städte und Dörfer, Wälder, der Körper des an der Javaküste verlaufenden Eisenbahndammes, ganze Stücke Landes waren vernichtet und verschwunden, als sich die große Flut zurückzog; die Städte Anjer, Bantam und Merak und eine Reihe anderer existierten nicht mehr, an manchen Orten, z. B. auf den Inseln Sebesie und Seramy, ging die ganze Bevölkerung zu Grunde. Einzelne entkamen wie durch ein Wunder, indem sie durch die erste große Welle „wie Strohhalme" landeinwärts geschwemmt und hier trocken abgesetzt wurden, ohne während dieser furchtbaren Fahrt zerschmettert oder ertränkt zu werden.

Was weiter geschah, ist schwer zu berichten; die Todesangst, der Kampf ums Leben beschäftigten allein die Überlebenden, Finsternis umgab alles. Aschenregen, Explosionen, Sturm und Gewitter dauerten fort. Am 28. August morgens wurde es wieder hell, der Ausbruch war noch nicht vorüber, aber er hatte bedeutend nachgelassen; die nächstgelegenen Küstenstrecken von Java und Sumatra jedoch hatten ihr Aussehen so vollständig verändert, daß man die einzelnen Punkte nur ihrer Lage, nicht ihrem Aussehen nach wiedererkannte. Die tropische Vegetation war verschwunden, soweit die Sturzwellen landeinwärts gedrungen waren, der Boden war kahl, mit mißfarbigem Schlamm und Auswurfsprodukten, mit entwurzelten Bäumen, Trümmern von Gebäuden, mit Leichen von Menschen und Tieren bedeckt. In der Sundastraße schwammen ungeheure Mengen von Bimsstein, mit Bäumen und Leichen untermischt. Die Zahl der Opfer beträgt nach amtlichen Berichten gegen 40,000.

Was war nun aber am Krakatau selbst während dieser Zeit geschehen? Am 26. August bildete er eine Insel von $33^1/_3$ qkm, mit dem großen Vulkankegel des Rakata und den kleineren Kratern Danan und Perbuatan. Am 28. August war der größte Teil der Insel im Meere verschwunden, nur $10^1/_2$ qkm von der alten Insel waren übriggeblieben. An den Rändern dieser

Ruine aber waren breite Streifen von vulkanischen Produkten neu angeschwemmt worden, so daß der neue Krakatau jetzt eine Ausdehnung von 15½ qkm hat. Der Bruch geht mitten durch den großen Kraterberg, von dem noch der eine Abhang 800 m hoch aufragt; in senkrechten Wänden stürzt er gegen das Meer ab, welches jetzt die Stelle des Kraters einnimmt. Wo früher festes Land war, sind jetzt Meerestiefen von 200—300, ja selbst 360 m, aus deren Mitte eine einzelne Klippe hervoragt (s. Abbildungen S. 224 und 230). Es kann sich hier nicht um eine große Senkung handeln, da außerhalb des Kraterbereichs selbst das Meer nirgends tiefer, sondern infolge der Aufschüttung vulkanischer Auswürflinge rings um Krakatau seichter geworden ist. Offenbar haben wir es nur mit den Wirkungen der vulkanischen Explosionen zu thun, welche den verschwundenen Teil der Insel entweder unmittelbar in die Luft sprengten oder seinen Einsturz verursachten. Man kann sich den Verlauf der Eruption mit Verbeeck etwa in der Weise vorstellen, daß die alte Kratermasse während der langen Eruptionsperiode des Jahres 1863 nach und nach ausgehöhlt, durch die Hitze der darunter befindlichen Lava erweicht und durch die Heftigkeit der Stöße zerrissen wurde und daher nicht mehr im stande war, den Druck von oben zu tragen. So mußte der Krater niederbrechen, und das Meer erhielt in breitem Strome Zutritt zur Lava. Durch die Gewalt des Sturzes sowie durch die Krustenbildung auf der durch das Wasser abgekühlten Lava wurde der Druck auf die Lavasäule bedeutend vermehrt, aber nur für einen Augenblick. Unmittelbar darauf wurde der zentrale Teil der Lava, vermischt mit Seewasser und Schlamm, mit ungeheurer Kraft herausgeschleudert und so die heftigste Explosion erst durch den Einsturz des Kraters hervorgerufen.

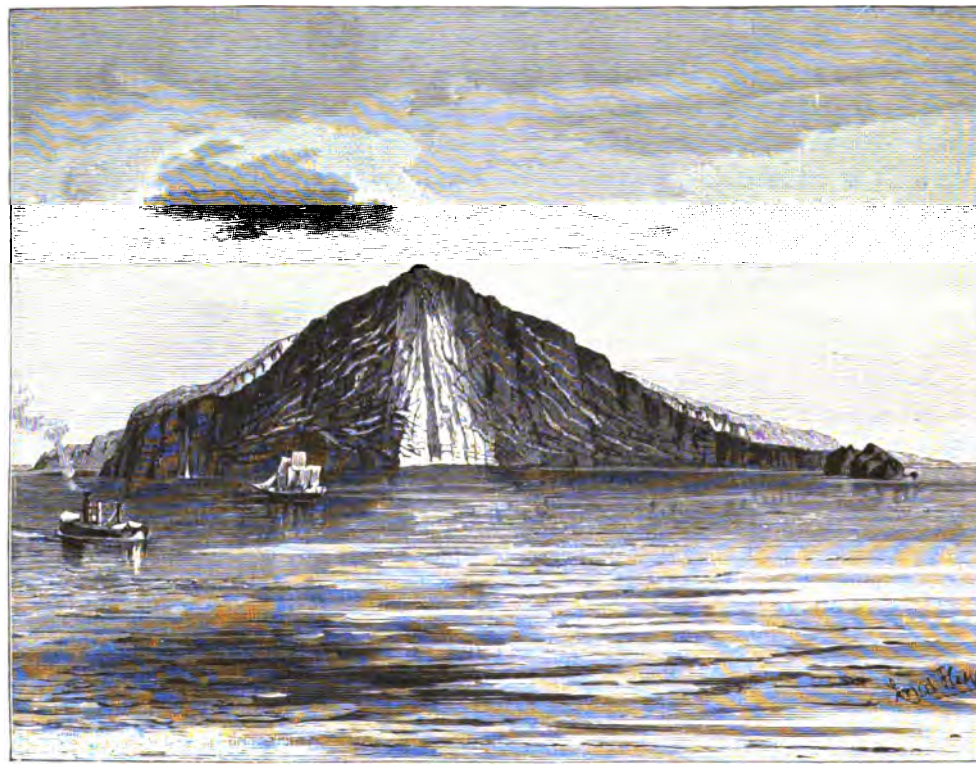
Wesentlich anders sind die Vorstellungen Judds über die Ursache dieser großartigen Ereignisse. Die verbreitete Vorstellung, es hätte der plötzliche Zufluß des ozeanischen Wassers zur glühenden Lava eine enorme Dampfbildung und die große Katastrophe zur Folge gehabt, lehnt Judd mit dem Hinweis darauf ab, daß der oft beobachtete Eintritt geschmolzener Lava in das Meer nur ganz kurze Zeit von lebhafter Dampfbildung begleitet sei. Auf der Lava bilde sich sehr rasch eine Kruste, welche als schlechter Wärmeleiter weitere Dampfbildung verhindere. Der jeweilige Zutritt des Meerwassers zum Lavaherd des Krakatau, eine unvermeidliche Folge der fortschreitenden Ausweitung des Kraters, mußte über der Lavamasse eine Kruste herstellen, unter welcher die Sammlung der magmatischen Dämpfe so lange zunahm, bis deren Spannung den auflastenden Druck überwinden und eine neue Explosion hervorrufen konnte. Diese intermittierende, dem Spiele der Geysire vergleichbare Thätigkeit mußte zu einer fortschreitenden Ermäßigung der vulkanischen Äußerungen führen, bis der Paroxysmus durch ein Zusammenfassen der gesamten vorhandenen Spannung nach längerer Pause zu einem letzten furchtbaren Hauptschlag ausholte und sich dadurch verausgabte. Die vorangegangenen Explosionen hatten nur Bimsstein, also zerstäubte Lava gefördert, die Schlußkatastrophe dagegen auch Stücke aus dem Gerüst der alten Kratermasse, welche hierbei gänzlich in die Luft geblasen wurde.

Als Ursache des Wiedererwachens der vulkanischen Kräfte am Krakatau betrachtet Verbeeck das oben erwähnte Erdbeben des Jahres 1880. In der Gegend des Krakatau kreuzt sich die vulkanische Längsspalte mit der querverlaufenden Sunda-Spalte, auf welcher sich dieses Erdbeben bewegt hatte. Eine kleine Verschiebung längs der Sunda-Spalte konnte genügen, um dem Vulkanherd Wasser zuzuführen und damit eine Vermehrung der Spannung und zugleich eine Belebung der Aktivität zu veranlassen.

Die neuentstandene Innenwand des gespaltenen Rakata-Kegels gewährt einen so vorzüglichen Einblick in den inneren Bau eines Vulkankegels, wie gegenwärtig kaum ein zweiter Punkt der Erde. Man sieht an der Basis die andesitischen Lagen des alten Kraterwalles hervortreten (s. die Abbildung, S. 228), darüber bauen sich symmetrisch zu einer durch die Spitze gelegten Senkrechten

die konkordant aufeinander liegenden Decken von basaltischer Asche und Lapilli im Wechsel mit basaltischen Strömen auf, durchzogen von zahlreichen Gängen. Die Mächtigkeit der Ströme schwankt zwischen 1/3 und 1/2 m, die der Aschenlagen zwischen 1/4 und 2 m. Die Kraterröhre oder ihr massiver Lavakern ist nicht zu sehen, man darf aber vermuten, daß sich der Krater in dem noch stehengebliebenen Teil des Rakata-Kegels befindet.

Die unmittelbare Folge der Katastrophe war jene vernichtende Sturzwelle, welche am 27. August gegen 10 Uhr die Küsten der Sundastraße verwüstete. Es ist von Interesse, den Verlauf dieser großen Woge etwas näher zu betrachten. Je nach der Beschaffenheit des Ufers



Die Innenwand des Rakata-Kegels. (Nach Judd.) Vgl. Text, S. 227.

und den verschiedenen örtlichen Verhältnissen war ihre Höhe verschieden; an dem Leuchtturm von Vlakken Hoek war sie 15 m hoch, bei Telok Betong 22 m, bei Merak, Anjer und an der Insel Dwars in den Weg 35 m. Die Bewegung des Wassers beschränkte sich nicht auf die Sundastraße, sie pflanzte sich fort und wurde nach Verlauf einiger Zeit selbst an den entferntesten Küsten bemerkt. Überall im Gebiet des Indischen Ozeans, auf Ceylon, Mauritius, in Port Elizabeth (Kapkolonie) und zu Aden am Eingang des Roten Meeres, brandete sie, natürlich mit einer durch die Entfernung sehr verminderten Stärke, an die Ufer. Über den ganzen Stillen Ozean bewegte sie sich gegen Osten und brach sich an der Westküste Amerikas (z. B. San Francisco), ja sie erreichte selbst den Atlantischen Ozean, wo sie z. B. an der französischen Küste und zu Colon am Isthmus von Panama beobachtet wurde; es rauschte also wohl der Ozean an allen seinen Küsten auf. Es liegen auch mehrfache Angaben über die Zeit vor, zu welcher die Welle eintraf, so daß man die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Bewegung berechnen kann. Aus

der Zeit, welche die Welle brauchte, um Port Elizabeth in Südafrika zu erreichen, wird z. B. eine Geschwindigkeit von 306 Seemeilen in der Stunde abgeleitet.

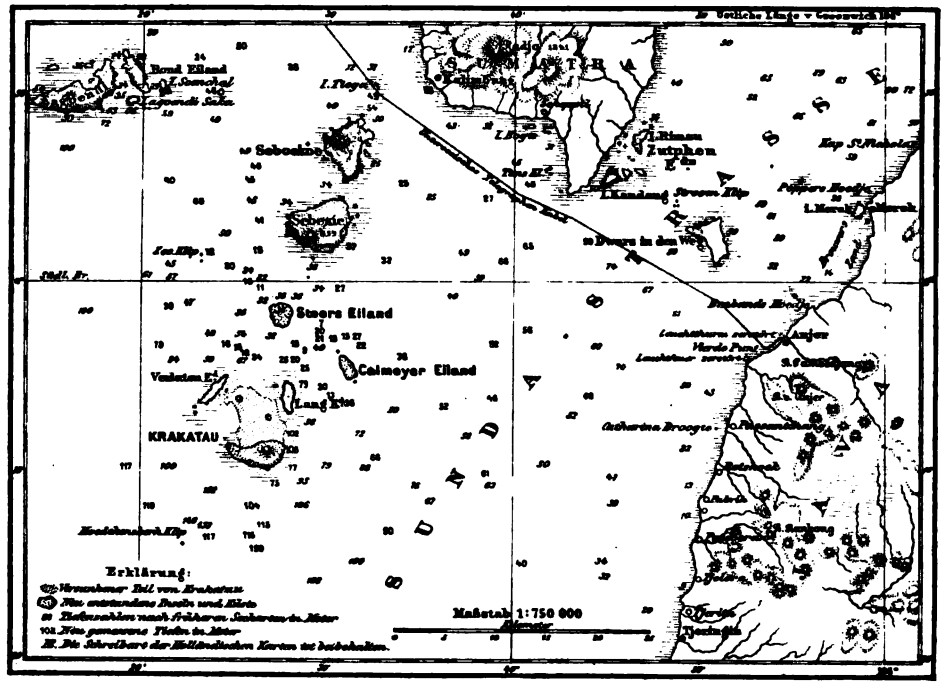
Wie das Meer, so wurde auch die Atmosphäre in heftige Bewegung versetzt. Mehrfach wird von wütenden Orkanen berichtet, welche in der Nähe des Krakatau tobten; in der Umgebung zeigten alle Barometer fieberhafte Erregung und schwankten innerhalb kurzer Zeiträume um Beträge von 2 Zoll. Vor allem aber erzeugte die Hauptexplosion, welche am 27. August gegen 10 Uhr morgens stattfand, eine Luftwelle von solcher Gewalt, daß sie sich über die ganze Erde hin fortsetzte. Allerdings war in fernen Gegenden, in Europa, in Nordamerika und in Südgeorgia, östlich vom Kap Horn, von wo namentlich Beobachtungen vorliegen, die Wirkung keine so starke mehr, daß sie die Menschen an sich hätten fühlen können; sie wurde nur da bemerkt, wo genaue meteorologische Instrumente vorhanden waren. An solchen sah man aber ganz allgemein in den letzten Tagen des August und den ersten Tagen des September von Zeit zu Zeit ein kurz dauerndes, rasches Fallen und Steigen des Barometers, welches man sofort der durch die große Explosion des Krakatau erzeugten Luftwelle zuschrieb. Die Art und Weise, in welcher diese Schwankungen eintraten, ergibt sich am besten, wenn wir die Erscheinung betrachten, wie sie an einem bestimmten Punkte auftrat. „Die erste atmosphärische Welle jenes Ursprungs ist in Berlin etwa 10 Stunden nach der Katastrophe erschienen, woraus unter Zugrundelegung der kürzesten Entfernung Berlins vom Ursprung eine Geschwindigkeit von etwas mehr als 1000 km in der Stunde ermittelt worden ist. Etwa 16 Stunden später ist sodann eine zweite, ganz ähnliche Barometerschwankung eingetreten, welche aber nichts anderes darstellt als das Erscheinen derselben Luftwelle auf dem zweiten, erheblich längeren Wege, den dieselbe über Amerika nach Europa zurückgelegt hat. Berücksichtigt man nämlich den Unterschied der beiden Weglängen einmal von der Sundastraße nach Berlin über Ostindien, das andere Mal über Amerika, so ergibt sich unter Voraussetzung der vorerwähnten Geschwindigkeit in der That eine Verspätung der über Amerika kommenden Luftwelle von nahezu 16 Stunden.

„Im weiteren Fortgang hat alsdann die ganze Welle eine Umkreisung der Erde vollführt, deren Dauer unter der Annahme jener Geschwindigkeit etwa 36 Stunden betragen mußte. In der That erschien denn auch fast genau nach 36 Stunden in Berlin auf dem Wege über Ostindien wieder eine der ersten Schwankung ganz entsprechende Welle, nur mit etwas verminderter Stärke. Die entsprechende Wiederkehr der über Amerika hierher gelangten Wirkung findet dagegen schon nach etwa 34—35 Stunden statt, was sich in Übereinstimmung mit der an anderen Orten beobachteten Folge der Erscheinungen daraus erklärt, daß auf dem Wege von Westen nach Osten die Fortpflanzung deshalb eine raschere ist, weil in den höheren Schichten der Atmosphäre im großen und ganzen eine Strömung von Westen nach Osten vorwiegt. Zum drittenmal erfolgte dann die Ankunft der Wellenbewegung über Ostindien in Berlin etwa 37 Stunden nach der zweiten Ankunft. Von da ab ist bei abnehmender Stärke der Schwankungen die Wiederkehr der einzelnen Wellen nicht mehr mit Sicherheit zu verfolgen, doch blieben bis zum 4. September immer noch sehr kleine Schwankungen ungewöhnlichen Verlaufs in den Aufzeichnungen sichtbar." (Nach J. Hann.)

Durch Vergleichung der Zeiten, in denen sich die Störung an 54 Orten bemerkbar machte, suchte Strachey den Zeitpunkt des Hauptausbruchs zu ermitteln, und er berechnete, daß sich derselbe um 9 Uhr 58 Minuten ereignet habe, während Verbeeck nach seinen Beobachtungen auf Java, namentlich am Indikator der Gasfabrik zu Batavia, 10 Uhr 2 Minuten für den wahrscheinlichen Zeitpunkt der Katastrophe hält.

Ungeheuer groß war der Flächenraum, über welchen die Explosionen des Krakatau gehört wurden, und es tritt dabei die merkwürdige Erscheinung auf, daß sie in einiger Entfernung

stärker vernommen wurden als ganz in der Nähe. Dieser Fall steht nicht vereinzelt da, doch ist die Erklärung noch keine ganz ausreichende; wahrscheinlich ist im engen Umkreise des Vulkans der sehr dichte Fall der Asche der Fortpflanzung der Schallwellen hinderlich. Die entlegensten Punkte, an welchen die Detonationen wahrgenommen wurden, sind Ceylon, die Andamanen, Saigon in Kochinchina, die Philippinen, die Geelvink-Bai auf Neuguinea und Perth im südwestlichen Australien. Aus dem Süden hat man keine Nachrichten, da hier der offene Ozean liegt. Der Schall verbreitete sich auf eine Entfernung von etwa 3400 km, über einen Umkreis, der ein Fünfzehntel der ganzen Erdoberfläche beträgt. Denken wir uns den Mittelpunkt der Eruption nach Wien verlegt, so wäre der Donner nicht nur in ganz Europa vernehmbar gewesen,



Karte der Sundastraße mit dem Krakatau und den neugebildeten Inseln Steers Eiland und Calmeyer Eiland.

sondern auch im östlichsten Grönland, im südlichen Spitzbergen, im südlichen Teile von Nowaja Semlja, im ganzen Uralgebirge, am östlichen Ufer des Aralsees, an der südöstlichsten Ecke des Kaspischen Meeres, an der Mündung des Euphrat in den Persischen Meerbusen, im nördlichen Drittel des Roten Meeres, im größeren Teile der Sahara und auf der Insel Madeira. Kein anderer Ausbruch, von dem die Geschichte weiß, kann eine auch nur annähernd ähnliche Verbreitung der Schallphänomene aufweisen. (S. das Kärtchen auf S. 298.)

Die Auswürflinge des Krakatau bestehen der Hauptsache nach aus Bimsstein und feiner Asche. Ihre Masse ist eine ganz kolossale; Verbeeck schätzt sie auf mindestens 18 ckm, wovon etwa 12 in einem Umkreise von 12 km um den Vulkan niederfielen und hier eine 20—40 m dicke Lage bildeten. Da die Meerestiefe gegen Norden bis zur Insel Sebesie vor dem Ausbruch etwa 36 m im Durchschnitt betrug, so ist diese Region für größere Schiffe nicht mehr befahrbar, und wie die obenstehende Karte zeigt, hat hier nicht nur das Relief des Meeresbodens große Veränderungen erlitten, sondern es haben auch bedeutende Neubildungen von Land stattgefunden: an der Ruine des Krakatau wurden, wie oben erwähnt, 5 qkm neu angeschüttet;

die nahegelegenen Inseln Lang Eiland und Verlaaten Eiland sind, erstere um 0,3, letztere um mehr als 8 qkm vergrößert, während eine sehr kleine Insel in der Nähe, das Poolsche Hoedje, verschwunden ist, vermutlich von der großen Woge weggespült. Dafür hatten sich zwei neue Inseln, Steers Eiland und Calmeyer Eiland, gebildet, die eine 3, die andere etwas über 4 qkm groß, welche nur wenige Meter über den Meeresspiegel emporragten; doch sind auch sie vom Wasser schon wieder verschlungen worden. Als Verbeeck im Oktober 1883 die Gegend besuchte, dampften die neugebildeten Inseln noch, jedoch nur infolge der Wärme des aufgeschütteten Materials; von selbständigen Eruptionspunkten war keine Spur vorhanden, und die anfangs verbreitete Nachricht, daß sich hier 16 neue Vulkankegel gebildet hätten, beruht lediglich auf einer Mißdeutung des Dampfes, der diesen warmen Aufschüttungen entstieg. Ungeheure Massen von Bimsstein schwammen auf dem Meere und bildeten förmliche schwimmende Inseln, die ein paar Meter über den Wasserspiegel hervorragten. Namentlich gegen Sumatra zu, am Eingang und im Inneren der Lampong- und Semangka-Bai, waren diese schwimmenden Bänke so dicht, daß selbst starke Dampfer sie nur mit Aufbietung der vollen Dampfkraft zu durchbrechen vermochten und dabei durch Beschädigungen der Maschinen in schlimme Lage gerieten; ja, ein holländisches Kriegsschiff, das, nur für sechs Tage verproviantiert, in diese Bimssteinbänke eingedrungen war, schwebte eine Zeitlang in Gefahr, eingeschlossen zu bleiben und in Hungersnot zu geraten. Die lose Asche verbreitete sich über einen Bezirk, dessen Ausdehnung auf 750,000 qkm, also bedeutend größer als das Deutsche Reich, geschätzt wird.

Ehe wir den Krakatau verlassen, müssen wir noch eine höchst merkwürdige Erscheinung besprechen, welche diesem Ausbruch zuzuschreiben ist. Sehr bald nach der Eruption, noch in den letzten Tagen des August, bemerkte man zuerst in der Nähe des Herdes, dann in größerer Entfernung, daß die Sonne eine sehr eigentümliche, in der Regel grüne Farbe annahm. Die Erscheinung zeigte sich z. B. auf Ceylon, etwas später auf Mauritius, dann an der Westküste von Afrika, endlich in Brasilien und Zentralamerika und in ähnlicher Weise an vielen anderen Orten. Man schrieb sie fein verteilten Stäubchen vulkanischer Asche zu, welche in den höchsten Regionen der Atmosphäre flottierten. Gegen Ende November 1883 traten in ganz Europa jene herrlichen Dämmerungserscheinungen auf, welche allgemeines Aufsehen und Bewunderung erregten. Nach Sonnenuntergang war das Firmament mit tiefer Purpurglut übergossen, welche außerordentlich lange anhielt und spät der vollen Finsternis Platz machte. Bald wurde es offenbar, daß es sich nicht um eine lokale Erscheinung handle; aus allen Weltteilen trafen Nachrichten ein, welche dasselbe berichteten, nur mit dem Unterschiede, daß in vielen Gegenden dieses „Nebelglühen", wie man es unrichtig nannte, schon weit früher aufgetreten war als bei uns, nirgends aber vor dem Ausbruch des Krakatau. Solche Dämmerungserscheinungen setzen ein in der Atmosphäre schwebendes lichtbrechendes Medium voraus. Aus der ganz ungewöhnlichen Stärke und allgemeinen Verbreitung konnte geschlossen werden, daß man es nicht mit der Brechung an gewöhnlichen Nebel- oder Wolkenmassen zu thun habe, wie es bei dem normalen Morgen- und Abendrot der Fall ist. Aus der Beschaffenheit der Phänomene konnte überdies gefolgert werden, daß sich die lichtbrechende Schicht in einer Höhe von 60—70,000 m (von einer Seite wird 18,000 m angegeben) befinden müsse, also in einer Höhe weit über der Region, in welcher sich unsere alltäglichen meteorologischen Prozesse abspielen. Die Ansichten waren sehr geteilt in Bezug auf die Frage, welcher Art das Medium sei, welches in diesen gewaltigen Höhen die Dämmerungserscheinungen hervorgerufen hatte. Die einen nahmen an, daß unsere Erde entweder eine kosmische Nebelmasse, oder einen Schwarm feinster Eisnadeln, oder endlich eine Masse von Meteorstaub passiere, jedenfalls also, daß eine aus dem Weltraum stammende Beeinflussung unserer Atmosphäre stattgefunden habe. Auf der anderen Seite dagegen steht die von Jesse und

Lockyer aufgestellte Ansicht, daß bei der furchtbaren Explosion des Krakatau die feinsten Aschenteile bis zur Höhe von 60,000 m emporgeschleudert worden seien und hier, von verschiedenen Luftströmungen getrieben, sich mehrere Monate hindurch schwebend erhalten hätten, ehe sie zur Erde niederfielen.

Um die Zeit der auffallenden Dämmerungserscheinungen fanden in Europa an einigen Punkten Staubfälle statt, während der Boden von Schnee bedeckt war. Man untersuchte solche Staubproben und fand darin winzige mikroskopische Kriställchen, wie sie in der Krakatau-Asche vorhanden sind. Man glaubte daraus schließen zu dürfen, daß hier wirklich Krakatau-Asche vorliege, die aus der Höhe herabgefallen sei; allein die Übereinstimmung ist keine volle, und namentlich scheinen die sehr charakteristischen Kügelchen von vulkanischem Glas zu fehlen, so daß also auch hier keine sichere Auskunft zu haben ist. Man forschte nun nach früheren Erscheinungen ähnlicher Art; im Jahre 1831 hatten sich in Europa ähnliche Dämmerungserscheinungen gezeigt, welche Anfang August begannen und bis gegen Ende September anhielten, nachdem im Juli die untermeerischen Ausbrüche begonnen hatten, die zur Bildung der Insel Julia führten (s. S. 186). Ähnliche Dämmerungserscheinungen im Herbst 1864, welche W. v. Bezold geschildert hat, traten nach einer submarinen Eruption zwischen Sizilien und Pantellaria ein. Diese beiden Fälle stimmen nun allerdings recht gut überein, aber wir müssen uns daran erinnern, daß im Durchschnitt doch jährlich mindestens zehn Vulkane heftige Ausbrüche haben und man daher eine sehr häufige Wiederkehr jener prächtigen Färbungen am Himmel erwarten müßte. Vor allem aber hätten sie nach jenen Eruptionen erscheinen müssen, welche durch die unerhörte Menge der ausgeworfenen Asche ausgezeichnet sind, wie die des Conseguina. Wohl ist von Kießling festgestellt, daß nach der Eruption des Temboro auf Sumbawa im Indischen Ozean im Frühjahr 1818 eine grüne Färbung der Sonne bemerkt worden ist, und daß diese optischen Störungen nicht so selten sind, als man bisher angenommen hat, aber trotzdem treten sie nicht in einer der Zahl der großen Aschenausbrüche entsprechenden Häufigkeit auf.

Es wäre dies wohl ein entscheidendes Argument gegen die Annahme eines Zusammenhanges zwischen Vulkanausbrüchen und Dämmerungserscheinungen, wenn nicht ein eigentümliches Verhältnis hervorträte, das bisher noch nicht berücksichtigt ist. Submarine Ausbrüche sind sehr viel seltener als solche auf trockenem Lande, aber trotzdem gehören die beiden Eruptionen von 1831 und 1864, die von starkem „Nebelglühen" gefolgt waren, in die erstere Kategorie, und die Katastrophe des Krakatau reiht sich denselben insofern an, als nach dem Einsturz des Kraters der volle Wogenschwall des Meeres in die vulkanische Esse strömte. Es liegt nahe, daraus zu schließen, daß gerade die dabei entstehenden heftigen Wasserdampfexplosionen es sind, welche einen wesentlichen Anteil an der sehr feinen Zerstäubung des Materials und an seiner Emporschleuderung in die höchsten Regionen nehmen. Dies erklärt zur Genüge, warum viele der bedeutendsten und aschenreichsten Ausbrüche keine Dämmerungserscheinungen im Gefolge hatten. Man zweifelte ferner an der Möglichkeit, daß feste Teilchen in so enorme Höhen geschleudert werden könnten und im stande wären, sich so lange Zeit in den höchsten Schichten der Atmosphäre schwebend zu erhalten, ohne herabzufallen. Dagegen ist mit Recht bemerkt worden, daß das Aufsteigen des ausgestoßenen Rauches und der Asche durch die rasche Aufeinanderfolge der Explosionen in hohem Grade begünstigt werden mußte. Über dem Krater mußte ein förmlicher Strom von Gasen und Dämpfen entstehen, wie in einer Esse, in welcher die nachfolgenden Förderungen aufflogen, ohne einem Luftwiderstand zu begegnen, und in welchem sie durch nachdrängende Explosionen in immer größere und zuletzt so bedeutende Höhen gehoben wurden, daß die merkwürdigen optischen Erscheinungen eintreten konnten. Untersuchungen über den Widerstand, den leichte Körperchen beim Fallen durch die Luft erfahren, haben ferner gezeigt, daß dieser Fall so

überaus langsam erfolgt, daß sich vulkanischer Dunst zwei Jahre und darüber in der Atmosphäre erhalten kann. Durch diese Erwägungen und Untersuchungen wurden alle Zweifel beseitigt und der Zusammenhang der abnormalen Dämmerung mit dem Ausbruch des Krakatau zur unbestreitbaren Thatsache erhoben. Die optischen Störungen äußerten sich in dreifacher Form, als ungewöhnliche Sonnenfärbungen, als eine Steigerung im Farbenreichtum und der Dauer der Dämmerung und als ein die Sonne umgebender rötlicher Beugungsring, der sogenannte Bishopsche Ring. Das Maximum der Wirkung fiel in den Winter 1883, im Sommer 1884 verschwanden ganz allmählich die farbenprächtigen Erscheinungen, deren letzte Spuren von aufmerksamen und geübten Beobachtern bis zum Sommer 1886 verfolgt werden konnten.

Java ist klassischer Boden für die Kenntnis der Eruptiverscheinungen. Diese Insel hat auf einer Erstreckung von nicht ganz 150 geographischen Meilen wohl über 100 Vulkane, von denen aber kaum die Hälfte näher bekannt ist; nirgends auf der Welt drängen sie sich in so ungeheurer Menge auf verhältnismäßig so kleinem Raum zusammen. Horner und Horsfield haben sich um deren Kenntnis verdient gemacht; vor allen aber verdanken wir Junghuhn ein treffliches Werk, die Frucht langjähriger Untersuchungen an Ort und Stelle, durch welches diese Vulkane zu den bestbekannten außerhalb Europas gehören.

Die javanischen Feuerberge stehen nicht unmittelbar an der Küste, sondern ungefähr in der Mittellinie der allerdings nicht sehr breiten Insel, so daß sich kaum der eine oder der andere 10 Meilen vom Meer befindet. Die Anordnung ist zwar der Hauptsache nach eine reihenförmige, nach einer der Längenerstreckung des Landes von Westen nach Osten folgenden Linie; allein im einzelnen zeigt sich eine bemerkenswerte Modifikation, die in derselben Weise bei den Vulkanen Zentralamerikas wiederkehrt: es treten nämlich mehrfach kurze, die Hauptlinie kreuzende nordsüdliche Querreihen auf, von denen jede einige Krater trägt. Eine andere sehr auffallende Eigenschaft der javanischen Vulkane ist die, daß ihre Kegel auf der Außenseite von regelmäßig verteilten, geradlinig nach abwärts verlaufenden Schluchten durchfurcht sind, welche den Bergen in geringer Entfernung ein gestreiftes Aussehen verleihen. „Obgleich die Oberfläche eines 3343 m hohen Vulkans, des Gunung Sumbing, aus einiger Entfernung gesehen, wie eine ununterbrochene geneigte Fläche erscheint, so findet man doch bei näherer Betrachtung, daß sie aus lauter einzelnen schmalen Längsrücken oder Rippen besteht, die sich nach unten immer mehr spalten und breiter werden. Sie ziehen vom Gipfel des Vulkans oder noch öfter von einer Höhe, die einige hundert Fuß unterhalb des Gipfels liegt, nach allen Seiten wie die Strahlen eines Regenschirmes divergierend, zum Fuß des Berges herab." (Junghuhn.) Am Gunung Sumbing sind oberhalb der Region von 9000 Fuß nur etwa 10 solche Rippen vorhanden, in 8500 Fuß Höhe 32, in 5500 Fuß Höhe 72, in 3000 Fuß Höhe über 95; dabei nimmt der Neigungswinkel der Gehänge von 37° zu 25° und 11½° ab. Die Entstehung wird von Junghuhn gewiß mit Recht der Wirkung des Wassers zugeschrieben, der erodierenden Kraft der Bäche, die nach Regengüssen von den Seiten der Berge herabstürzen, und die Erscheinung scheint ganz mit dem Auftreten der kleinen Barancos auf Palma (Kanaren) übereinzustimmen.

Bemerkenswert ist die große Armut an Lavaströmen, die so weit geht, daß man früher deren vollständiges Fehlen annahm. Junghuhn hat nun allerdings einige solche nachgewiesen, aber trotzdem bleibt ihre Zahl sehr gering; häufiger scheinen sogenannte Steinströme vorzukommen, aus lauter einzelnen, meist eckigen Trümmern bestehend, welche nacheinander austreten und am Abhang herabstürzen.

Die Höhe der meisten Vulkane Javas liegt zwischen 2000 und 3800 m; der höchste unter ihnen, der Gunung Semeru, mißt etwa 3740 m, einige andere kommen ihm ziemlich nahe;

durch die kolossale, fast 1 geogr. Meile im Durchmesser betragende Weite seines Kraters ist der Gunung Tenger ausgezeichnet. Die Zahl der thätigen Feuerberge auf Java beläuft sich auf etwa 30, unter denen der Gunung Guntur und der Gunung Lamongung fast ununterbrochen in Thätigkeit sind. Abgesehen von der furchtbaren Katastrophe im August 1883, ereignete sich weitaus die stärkste Eruption, über welche Berichte oder Erinnerungen vorhanden sind, im Jahre 1822 am Gunung Gelungung, der seine Umgebung verwüstete, nachdem er bis dahin für vollständig erloschen gegolten hatte. Der eingehende Bericht von Junghuhn lautet in etwas gekürzter Form folgendermaßen:

„Der Berg steht in einem früher reich bebauten und bevölkerten Lande, in einer fruchtbaren Ebene, weit und breit mit Reisfeldern bedeckt, zwischen denen Hunderte kleiner Dörfer, von Kokospalmen umgeben, zerstreut lagen. Der 8. Oktober war ein sehr heißer Tag, die ganze Bevölkerung lag um Mittag im Schlafe, als um 1 Uhr ein donnerndes, brüllendes Geräusch ertönte und die Erde heftig bebte. Die Einwohner flohen aus ihren Häusern, und Schrecken bemächtigte sich ihrer, als sie bemerkten, daß aus dem Krater des Gelungung eine schwarze Rauchsäule von ungeheurem Umfang hervorschoß, die sich mit Blitzesschnelle ausbreitete, den ganzen Himmel überzog und im Nu den noch eben hell glänzenden Sonnenschein in tiefste Nacht verwandelte. Die Menschen flohen verwirrt und unsicher durcheinander; wenige Sekunden später, und ein paar Tausend von ihnen waren begraben. Sie wurden teils bedeckt vom Schlamm, der, vom Krater ausgeschleudert, in ungeheuern Massen aus der Luft herabfiel, teils kamen sie in den Fluten von heißem Wasser um, das, mit Schlamm und Steintrümmern gemengt, dem Krater in ungeheurer Menge entquoll und $2^1/_2$ Meilen im Umkreise alles überströmte, alle Dörfer, Felder und Wälder vernichtete und in einen dampfenden Pfuhl von bläulichgrauer Farbe verwandelte, der mit Kadavern von Menschen und Tieren, mit Häusertrümmern und zerbrochenen Baumstämmen übersäet war. Wild brachen durch diese Schlamm- und Trümmermassen die Bäche Tschikunir und Tschiwulan hindurch; sie waren zu tobenden Fluten angeschwollen, die alles auf ihrer Bahn zerstörten, alle Brücken wegrissen und weite Überschwemmungen verursachten, in denen noch eine Menge armer Flüchtlinge, die sich schon gerettet glaubten, das Leben verloren. Mit Menschen- und Tierleichen aller Art beladen, wälzten sie ihr schlammiges, kochendes Wasser der Südküste zu, deren Bewohner die Flucht zu den nächsten Hügeln ergriffen. Nach drei Stunden, um 4 Uhr nachmittags, ließ die Heftigkeit des Ausbruchs nach, um 5 Uhr war alles vorüber; zahlreiche Dörfer samt ihren Bewohnern lagen unter vulkanischem Schlamm und Steintrümmern begraben, so daß man keine Spur mehr von ihnen sah und das Terrain südöstlich vom Berge durch Auswurfsmassen 30—40 Fuß hoch erhöht war. Der schönste Abend beleuchtete dieses Schauspiel.

„Doch noch hatte der Vulkan seine Wut nicht ganz entladen, und ein zweiter Ausbruch, noch zerstörender in seinen Wirkungen als der erste und schrecklicher, da er mitten in der Nacht stattfand, trat vier Tage später ein und bedrohte das Land mit vollständiger Vernichtung. Um 7 Uhr abends, am 12. Oktober, fing der Gelungung unter heftigen Erderschütterungen wieder an zu brüllen und ungeheure Massen von heißem Schlamm und Wasser auszuspeien, die alles, was beim vorigen Ausbruch unversehrt geblieben war, mit ihren Fluten überströmten und das bereits erhöhte Terrain noch höher auftürmten. Geängstigt flohen die Einwohner, die sich plötzlich rings von den Fluten umtobt sahen, auf einige kleine Hügel, die sich in der Nähe ihrer Dörfer 60—100 Fuß hoch erhoben, und auf denen sich unter duftenden Kambodschabäumen die wohlunterhaltenen heiligen Gräber ihrer Eltern und Voreltern befanden. Dort hofften sie der Vernichtung zu entgehen, ohne zu bedenken, daß die Hügel, auf denen sie standen, ebenfalls vulkanische Auswurfsmassen seien, aufgetürmt vielleicht auf den Gräbern eines noch älteren

Geschlechts. Immer furchtbarer wälzten sich die dampfend heißen Schlammmassen heran; laut krachend brachen sich die mitgerissenen Felsentrümmer und Baumstämme am Abhang der Hügel, immer höher stiegen die Fluten, enger wurde der Raum, auf dem viele Hunderte unglücklicher Menschen die Hände zum Himmel erhoben. Bald schwoll der Schlamm bis zu den Gräbern selbst empor, einige Hügel wurden überschüttet, andere brachen zusammen unter dem Druck des nachströmenden Schlammes, über 2000 Menschen kamen so in einer Nacht um.

„Neue Hügel waren entstanden, ein ganz neues Terrain war gebildet worden, aus dessen Oberfläche nur hier und da der Gipfel einer stehen gebliebenen Kokospalme hervorragte. Der frühere Boden war um 40—50 Fuß tiefer, und die wenigen Eingeborenen, die sich aus der Katastrophe dieser Nacht gerettet hatten, wußten die Stelle ihrer untergegangenen Dörfer nicht mehr zu erkennen. Einen Monat später war es wegen Schlammmassen, Aschenhaufen und Steintrümmern noch nicht möglich, sich dem Berge zu nahen. Alle Vegetation war nicht nur in der Kraterspalte und auf den benachbarten Abhängen der Bergkette, sondern auch in dem Flachlande 10—15 Paals weit in der Runde bis auf den letzten Grashalm vernichtet. Alles war von frischem Schlamm überströmt, schwarz und öde."

Was diesen furchtbaren Ausbruch allen anderen gegenüber, die wir bis jetzt kennen gelernt haben, ganz besonders auszeichnet, ist die Beschaffenheit des ausgeworfenen Materials, welches aus Schlamm und von diesem umhüllten Steinen und Felstrümmern bestand. Junghuhn zeigt in der klarsten Weise, daß diese Materialien nicht als solche aus der Tiefe zu Tage gefördert worden sein können, sondern daß der Gelungung sicher vor diesem Ausbruch einen großen See im Inneren seines Kraters hatte, und daß sich der Schlamm lediglich durch die Mengung von emporgeworfener trockener Asche mit dem Wasser des Kratersees bildete. Es erklärt sich daraus auch, daß zum Schlusse der Eruption trockene Asche niederfiel; offenbar war um diese Zeit der Wasservorrat des Sees schon ausgeschleudert und erschöpft, die Asche konnte nicht mehr in Schlamm verwandelt werden und fiel als solche nieder.

Eine andere, fast ebenso furchtbare Katastrophe ging in der Nacht vom 11. zum 12. August 1772 am Papandajang vor sich. Der Trümmerregen, welcher sich nach furchtbaren Erschütterungen und Explosionen über die Umgebung ergoß, begrub im Verein mit einem 13 km langen Strom von Blocklava an 40 Ansiedelungen und verwandelte das Land in eine Wüste. Der Berg selbst, vordem ein regelmäßiger Kegel, war von der Spitze bis an seinen Fuß in nordöstlicher Richtung, einem Querbruch entsprechend, gespalten, und es war ein qualmendes, tief klaffendes Kesselthal von 10 km Breite und 24 km Länge entstanden, welches ein vollkommenes Analogon der großen Caldera von Palma darstellt.

Östlich von Java folgen die beiden durch ihre interessanten tiergeographischen Verhältnisse ausgezeichneten Inseln Bali und Lombok, beide mit thätigen Vulkanen, und ihnen reiht sich weiter Sumbawa mit dem furchtbaren Feuerberg Temboro an, dessen Ausbruch im Jahre 1815 zu den merkwürdigsten und heftigsten, leider aber auch zu den verderblichsten gehört, die wir überhaupt kennen, und neben welchem die bedeutendsten Paroxysmen des Vesuvs und Ätna recht harmlos und geringfügig erscheinen. Junghuhn schildert den Vorgang folgendermaßen:

„Unter allen Vulkanen der ganzen Erde ist keiner, der einen so großen und schrecklichen Ausbruch gehabt hat wie dieser, der im Jahre 1815 den ganzen Indischen Archipel erschütterte, einen großen Teil desselben mit Asche bedeckte, und dessen furchtbarer Donner auf 260 Meilen in der Runde gehört wurde; dieser Berg steht, soviel mir bekannt ist, ganz isoliert, ohne mit irgend einem anderen verbunden zu sein, an der Nordküste der Insel Sumbawa. Es wird berichtet, daß durch den Ausbruch im Jahre 1815 der ganze Gipfel des Berges zertrümmert und viel niedriger geworden ist.

„Am 5. April begann der Ausbruch mit Explosionen, welche in Pausen von je einer Viertelstunde wiederkehrten; am 10. April erreichte er seinen Höhepunkt: eine gewaltige Rauchsäule stieg aus dem Krater auf, und der ganze Berg war wie mit einem Feuerstrom (glühende Lavatrümmer?) bedeckt, doch hüllte er sich bald wieder in dunkle Rauch- und Aschenwolken. Die Detonationen waren so heftig, daß auf Sumbawa selbst die Mauern der Häuser sprangen, daß in Makassar, in 52 Meilen geradliniger Entfernung, der englische Kreuzer ‚Benares' mit Truppen zur Rekognoszierung ausgeschickt wurde, weil man die Schläge für schweres Geschützfeuer hielt, ... ja daß sie zu Mokomoko an der Südwestküste von Sumatra, in 260 Meilen Entfernung, wie Kanonendonner gehört wurden. Der Detonationskreis rings um den Gunung Temboro umfaßte ganz Java, Celebes, Ternate, alle ostjavanischen und molukkischen Inseln bis Neuguinea, den größten Teil von Sumatra nebst dem nordwestlichen Teil von Australien; die vulkanische Kanonade war gleichzeitig hörbar und die Erschütterungen wurden gefühlt auf einem Raume von 450 Meilen größter Ausdehnung von Osten nach Westen und nicht viel weniger von Norden nach Süden, also so weit wie von Suez nach Petersburg oder vom Vesuv bis zum Nordkap (s. die Karte, S. 298). Die Detonationen fuhren mit den begleitenden Erdbeben tagelang fort, den größten Teil des Archipels zu erschüttern; auch das Meer wurde bewegt; in der Bucht von Bima erhob es sich am 10. April vormittags bei vollständiger Windstille zu einer ungeheuern Woge; es stieg 12 Fuß höher als zur Zeit der höchsten Springflut; zwar dauerte die Flut nur drei Minuten lang, aber sie spülte Häuser und Bäume weg und warf große Fahrzeuge weit auf das Land, wobei auch ein früher versunkenes Schiff des Königs trocken wieder aufs Land gesetzt wurde. Durch die übermäßige Erhitzung einzelner Lufträume durch die geschmolzene Lava und die Glut in dem Krater wurde auch das Gleichgewicht der Atmosphäre gestört, und an demselben verhängnisvollen Tage, an welchem die unterirdischen Detonationen ihr Maximum erreicht zu haben schienen, erhob sich vormittags um 9 Uhr im östlichen Teil des Reiches Sangar, das an Temboro grenzt, ein Wirbelsturm, der ganze Dörfer und Wälder umblies, die stärksten Bäume entwurzelte, Häuser, Menschen, Vieh, kurz alles, was er antraf, emporhob und wie Strohhalme in der Luft herumwirbelte. Er wütete eine Stunde lang, dann ließ er viele von den emporgehobenen Gegenständen ins Meer fallen, in dem man noch Monate, sogar Jahre später eine Menge Baumstämme umhertreiben sah.

„Diese Erscheinungen waren die Begleiter des Emporquellens von vielleicht geschmolzenen, jedenfalls aber glühenden Auswurfstoffen, die vorherrschend aus bimssteinartigen Lavaschlacken, Bimsstein und aus einer sehr feinen, grauen, lockeren, aber schweren Asche bestanden; ob Lava ausgeworfen wurde, läßt sich nicht mit Bestimmtheit ermitteln. Das ganze Meer rings um Sumbawa bis in die Bucht von Bima, besonders aber westwärts vom Vulkan, war mit Bimsstein bedeckt, der, mit Baumstämmen untermengt, als eine 2 Fuß dicke Schicht auf dem Wasser schwamm, so daß die Schiffe sich nur mit Mühe durchzwängen konnten; außer Bimsstein war es Asche, die der Vulkan ausspie, und die den größten Teil von Sumbawa, namentlich die dem Vulkan zunächst liegenden Reiche Temboro, Pekat, Sangar und einen großen Teil von Dompo und Bima, viele Fuß hoch überschüttete, dermaßen, daß 15 Meilen östlich die Wohnung des Residenten und andere Häuser zu Bima unter der Last zusammenbrachen, daß die Zerstörung dieser vorher blühenden Reiche vollendet und eine grüne, fruchtbare Landschaft in eine graue, einförmige, tote Wüste verwandelt wurde; auf Sumbawa allein kamen 12,000 Menschen ums Leben.

„Die Asche stieg in so ungeheurer Menge in die höchsten Luftregionen, daß auf der in ihrer Mitte 22 Meilen (vom Temboro) entfernten Insel Lombok noch eine 2 Fuß dicke Schicht niederfiel, daß teils unmittelbar infolgedessen, teils an der dadurch entstandenen Hungersnot auf dieser Insel 44,000 Menschen zu Grunde gingen. Zu Banjuwangi, in 52 Meilen Entfernung, lag sie

noch 8 Zoll dick, und hier wie in dem 80 Meilen vom Vulkan entfernten Gresik wurde die Sonne drei Tage lang verdunkelt, und es herrschte eine Finsternis, stärker als in sternloser Nacht; erst am 14. April nachmittags ging die Sonne für Banjuwangi wieder auf. Ja, selbst zu Solo und Dschogdschokerta, 112 Meilen vom Mittelpunkt, wurde der helle Tag zur tiefsten Nacht, und zu Tscheribon, 140 Meilen entfernt, war die Sonne von düsterem Rauch verhüllt; die Asche flog bis Batavia und Benkulen und bis Makassar auf Celebes. Es wurde ein Raum der Erdoberfläche verfinstert, größer als ganz Deutschland, und die Asche flog so weit wie vom Vesuv bis an die Ostsee nach Königsberg. Durch diese Vorgänge war das Meer meilenweit mit Bimsstein bedeckt, das Land mit Bimsstein und Asche überschüttet, die Menschensitze fast ganz zerstört; was Leben hatte und nicht in der Eruption umgekommen oder durch den Wirbelsturm vernichtet worden war, das ging nun durch Hunger und Seuchen zu Grunde. Sogar die Tochter des Königs von Sangar starb durch Hunger; vom Reiche Dompo blieben nur 40, von den Königreichen Pekal und Temboro nur 3, von den Bewohnern der Stadt Sumbawa nur 26 am Leben; von den meisten Inseln auf der einen Seite bis Java, auf der anderen bis Timor fehlen alle Nachrichten, weil sie nicht von Europäern bewohnt sind; man kann aber die Verluste einigermaßen schätzen, wenn man hört, daß außer den 12,000 Menschen des schlecht bevölkerten Sumbawa allein auf Lombok mit seiner dichteren Bevölkerung 44,000 Menschen zu Grunde gingen."

Die Eruptionen des Gunung Gelungung auf Java und des Temboro auf Sumbawa besaßen eine so furchtbare Intensität und haben so ungeheure Massen von Material gefördert, wie sie bei den europäischen Vulkanen (von Island abgesehen) glücklicherweise nicht vorkommen oder wenigstens in historischer Zeit nicht vorgekommen sind. Die vom Temboro ausgeworfenen Aschen- und Schlackenmassen wurden von Junghuhn auf mehr als 300 ckm geschätzt (nach Verbeeck wären es nur 150—200 ckm). Solche Beispiele geben uns erst einen Begriff von der Gewalt dieser Phänomene und zeigen, daß es gewiß keine Übertreibung ist, wenn man die Entstehung gewaltigster Berge lediglich der Aufschüttung zuschreibt.

Die weitere Fortsetzung der Vulkanreihe erstreckt sich über Flores und einige kleinere Inseln mit thätigen Vulkanen nach Timor, das deren nur einen aufzuweisen hat; weiterhin schließen sich noch einige thätige Inseln gegen Osten an, so daß man die Linie fast bis zur Insel Timorlaut verfolgen kann. Der Endpunkt liegt hier ungefähr bei 8° südlicher Breite und 130° östlicher Länge von Greenwich, während der Beginn an der Küste von Arrakan auf der Insel Ramri bei 19° 21′ nördlicher Breite und 93° 30′ östlicher Länge zu suchen ist.

Einige isolierte Vulkane, die wir auf keine bestimmten Reihen beziehen können, treten noch im Sundameer auf, z. B. ein Kegel im nördlichen Borneo, der vermutlich bei näherer Durchforschung dieser großen und noch wenig bekannten Insel noch manchen Kollegen finden wird. Eine selbständige Reihe dürften die elf teilweise noch thätigen Vulkane auf der nördlichen Halbinsel von Celebes bilden. Eine große und sehr bedeutende Linie finden wir dann wieder in den Eruptionspunkten der Molukken, der Philippinen und der zwischen beiden liegenden Inseln, welche alle eine große Anzahl teils thätiger, teils erloschener Vulkane tragen. Weiterhin nach Norden setzt sich diese Reihe nach der Insel Formosa fort, von deren vier Vulkanen drei im Zustande der Eruption beobachtet sind; auch an den Küsten der Insel haben schon mehrfach submarine Ausbrüche stattgefunden.

Die nördlich folgenden Inseln der Ostküste Asiens bis hinauf zur Beringstraße gehören drei verschiedenen Bogenlinien an, welche von Süden nach Norden an Größe zunehmen; die südlichste dieser Reihen umfaßt die Liukiu-Inseln und die Südinsel von Japan sowie einen Küstenvulkan an der Küste von Korea, die zweite die übrigen Inseln von Japan mit Ausnahme

des nordöstlichsten Endes der Nordinsel Jeso, die nördlichste Reihe endlich die Nordostecke von Jeso, die Kurilen und Kamtschatka.

Über die Liukiu-Inseln ist nicht sehr viel bekannt; mehrere von ihnen haben thätige Vulkane, keinesfalls aber bestehen sie ganz aus Eruptivgesteinen, da auch das Vorkommen von mesozoischen, vielleicht jurassischen Meeresbildungen, kristallinischem Schiefer und jungem Korallenkalk von dort bekannt ist. Die Vulkane scheinen sich der Mehrzahl nach auf den kleineren, den inneren Teil der Kette bildenden Inseln zu befinden.

Japan hatte früher und hat noch jetzt eine überaus reiche vulkanische Thätigkeit. Auf einem Gerüst von altkristallinischen Massengesteinen und Sedimentablagerungen erheben sich zahlreiche teils erloschene, teils noch thätige Feuerberge, deren Zahl sehr verschieden angegeben wird. John Milne zählt 51 thätige Vulkane auf, von welchen 16 auf die Kurilen, 11 auf Jeso und 24 auf das mittlere und südliche Japan entfallen; mit Hinzurechnung der gegenwärtig ruhenden Krater ergibt sich die Gesamtzahl von mindestens 100 Vulkanen.

Es würde zu weit führen, zahlreiche Einzelheiten über die Beschaffenheit der japanischen Vulkane hier anzuführen. Die bekanntesten unter ihnen sind der Fuji, Asama, Aso, die Vulkaninseln im Satsuma-Meer und seit dem großen Ausbruch von 1886 auch der Bandai. Der ungefähr 2590 m hohe Asama hatte im Jahre 864 den ersten bekannten und im Jahre 1783 einen furchtbar verwüstenden Ausbruch. Der Berg warf Blöcke von 12—30 m Durchmesser aus und ergoß einen (nach E. Naumann) 63 km langen Lavastrom, welcher die 48 km lange Strecke von Kumawara nach Tone-gawa in 6 Stunden zurücklegte. Seither befindet sich der durch seine enorme Tiefe bemerkenswerte Krater in fortdauernder Thätigkeit. Der Vulkan Aso (1500 m) auf der Insel Kiusiu, welcher nach einer langen Ruheperiode vor einigen Jahren wieder wach geworden ist, zeichnet sich durch die bedeutenden Dimensionen des äußeren Ringwalles aus, dessen Durchmesser 20 km beträgt. Seit dem Jahre 796 haben an diesem Berge 67 größere Ausbrüche stattgefunden. Die Periode von 1780—1800, in welche auch der große Ausbruch des Asama fällt, war in Japan durch besonders gesteigerte vulkanische Regsamkeit gekennzeichnet, ein Teil des Berges Unsen wurde zerstört, der Inselvulkan Sakurajima, der nach japanischen Überlieferungen im Jahre 718 aufgeworfen wurde, stieß so viel Bimsstein aus, daß das Meer auf 35 km Entfernung damit bedeckt war, und eine Anzahl von Inseln wurde in der Satsuma-See südlich von Kiusiu neu gebildet. Am 11. Mai 1780 entstanden zwei Inseln, welche am 7. Juni durch einen neuen Ausbruch vereinigt wurden und den Namen Aneyijima erhielten, am 12. Juli entstand die Insel Jebisujima, am 29. September und am 30. Oktober kam es abermals zur Bildung zweier, später vereinigter Inseln. Diese Neubildungen fanden zu Beginn des folgenden Jahres ihre Fortsetzung, es wurde am 3. Januar 1781 der gegenwärtig 165 m hohe Inselvulkan Irojima gebildet und am 8. Januar ein kleines Eiland aufgeworfen, das aber bald wieder verschwand. Dank den genauen Aufzeichnungen aus früheren Jahrhunderten läßt sich feststellen, daß im Japanischen Meere in historischer Zeit geradezu unzählige, teils flüchtige, teils dauernde Neubildungen von Inseln stattgefunden haben.

Von allen Vulkanen Japans wird am häufigsten genannt der 3780 m hohe Fuji, der geheiligte, der „unvergleichliche" Berg der Japaner. Der Krater dieses ausnehmend schönen, himmelanstrebenden Kegels hat einen Durchmesser von 400—500 m und eine Tiefe von 167 m. Seit dem Ende des 8. Jahrhunderts sind zahlreiche Eruptionen des Fuji, teilweise von großer Bedeutung, bekannt, unter denen namentlich diejenige von 1707 von mächtiger Wirkung war. Das Buch „Okubokaki" erzählt darüber folgendes:

„Am 23. Tage des 11. Monats im 4. Hoei (16. Dezember 1707) entstiegen dem Krater große Rauchmassen, und der Berg warf glühende Asche und Lava auf einen Flächenraum von

20 Quadrat-Ri aus. Der Aschenregen hielt bis in den 12. Monat hinein an. Der Fluß Sanosekigawa und der 60 Cho große See bei Gotenba, Futabasi, Fukasawa und Näsita wurden mit Asche ausgefüllt, so daß man kein Wasser mehr darin fand. Bei dem Dorfe Nisugimura lag die Asche 7 Fuß hoch und erreichte fast die Dächer der Bauernhäuser. Asche drang selbst in die Häuser ein, und drei Häuser stürzten zusammen. Beim Dorfe Mizutonosinden lag sie auch 7 Fuß hoch, so daß nur die Dächer sichtbar waren, beim Dorfe Subasimura 10 Fuß hoch. Kosazuba war mit Asche bedeckt und der Asamatempel zur Hälfte in Asche gehüllt. ... In den Gegenden, wo der Aschenregen in besonders großen Massen niederfiel, wie bei Mikaidamigo, wurden die Bambuswälder entblättert; überhaupt blieb da von den Bäumen nur Stamm und Geäste. In den Dörfern, die besonders stark mitgenommen waren, litt man Wassermangel. Da die Reisfelder und Äcker des Odawaragebiets gänzlich verwüstet waren, so gab die Regierung im März 1708 dem Fürsten auf seine Bitte ein anderes Gebiet von 56,300 Koku. Ein Brief aus Fujigori lautet folgendermaßen: Seit gestern mittag um 2 Uhr bis heute, den 23., kamen etwa 30 heftige Erdstöße vor, welche viele Häuser vernichteten; gestern um 10 Uhr fing ein unterirdischer Donner an zu grollen, worauf schwarze Rauchwolken über dem Fusinojama sichtbar wurden. Alle Bewohner waren von gleich peinlicher Angst erfüllt, doch fand bis jetzt noch niemand den Tod. Die Rauchwolken stiegen höher und höher über den Berg; während des Tages sah man nichts als diese Wolke, als aber die Nacht einbrach, fuhren Feuerstrahlen aus derselben hervor. Später wurde das Feuer immer mächtiger, Asche und Steine flogen umher, um bis auf 20 Ri Entfernung in den benachbarten Provinzen niederzufallen. Besonders stark war der Aschenregen in den Provinzen Idzu, Sagami und Suruga, wo die Aschenmasse stellenweise 20 Fuß betrug, so daß die Anzahl der verschütteten Häuser und Tempel und der verwüsteten Felder eine alle Begriffe überschreitende war. Endlich nahm die Heftigkeit des Ausbruchs wieder ab, um zuletzt vollständiger Ruhe zu weichen. Dort, wo der Vulkan Lava ausgeworfen hatte, war ein großer Krater gebildet worden, bei dem ein neuer Berg, Hoeisan, entstand. Seitdem hat der weit berühmte Berg, der in China und Korea vergebens seinesgleichen sucht, seine schöne Gestalt eingebüßt. Wie traurig!"

Wir lernen aus diesem Bericht einen der großartigsten Aschenausbrüche kennen, der so riesige Mengen loser Produkte lieferte, daß er an Masse, wenn auch nicht an Umfang des Gebietes, über das er sich verbreitete, nicht sehr weit hinter der Eruption des Temboro zurückgeblieben zu sein scheint; die Lava trat seitlich aus einem parasitischen Krater aus. Bei dem großen Erdbeben von 1891 wurde der Gipfel des Fuji gespalten und eine 300 m lange und 200 m tiefe Kluft gebildet.

Ein Ausbruch der merkwürdigsten Art, über welchen uns mehrere japanische Forscher, vor allem S. Sekyia und Y. Kikuchi, Bericht erstattet haben, ereignete sich am 15. Juli 1888 am Bandai-San im nördlichen Japan. Dieser nördlich vom Inawasiro-See gelegene, 1840 m hohe Berg war bisher in keiner Beziehung hervorgetreten. Vier Spitzen, der große oder Obandai, der kleine oder Kobandai, der Kusigamine und Akahanijama, umgaben vor der Eruption eine flache, bewaldete, Numano-taira genannte Ebene, in welcher eine Solfatare zum Vorschein kam. Es ist sehr wahrscheinlich, daß die Numanotaira den alten Kraterboden, die genannten Spitzen den Kraterwall vorstellen. Der letztere wurde durch die Wirkung der Denudation während der tausendjährigen Ruhepause des Berges und vielleicht auch durch vorhergehende kleinere Explosionen in einzelne Kuppen aufgelöst. Durch Kondensation von Fumarolen war auf der Nordseite des kleinen Bandai eine Reihe von drei heißen Quellen entstanden, welche alljährlich von zahlreichen Kranken zu Heilzwecken aufgesucht wurden. Die Katastrophe brach so unvermittelt herein, daß die Badegäste sich nicht veranlaßt sahen, den Berg zu verlassen. Am 15. Juli wurde nach 7 Uhr morgens ein eigentümlich polterndes Geräusch, wie ferner Donner, vernommen, eine halbe Stunde

später folgte ein erträglich starkes Erdbeben, der Boden geriet in Schwankungen, hob sich, und um 7 Uhr 45 Minuten barst plötzlich der Kobandai. Unter furchtbarem Gebrüll wurden dunkle Dampf- und Aschensäulen ausgestoßen, 15—20 furchtbare Explosionen folgten aufeinander und hoben den Dampf in bedeutende Höhen. Die Hauptausbrüche dauerten ungefähr eine Minute, nachher nahm die Intensität der Eruption rasch ab, und nach zwei Stunden war die Katastrophe beendet. Eine mächtige Wolke lag wie ein riesiger Schirm auf der Nordseite des Kobandai, und ein furchtbarer Schauer von heißen Steinen, begleitet von warmem Regen, ging auf den Berg nieder, während das feinere Material vom Winde bis zum Stillen Ozean getragen wurde. Eine gewaltige Lawine von Steinen und Erdreich stürzte über den Nordabhang mit rasender Geschwindigkeit ins Magase-Thal herab und verwandelte eine Fläche von 70 qkm in eine Schuttwüste, vier Ortschaften und deren Bevölkerung unter sich begrabend.

Die näheren Umstände, unter welchen die Verbreitung des Schuttstromes vor sich ging, entbehren nicht eines gewissen Interesses. Mit Unrecht wird die Schuttlawine bisweilen als eine Art Schlammstrom beschrieben. Die Gesteinsblöcke waren durch das Kondensationswasser der ausgestoßenen Dampfwolken wohl befeuchtet, der Hauptsache nach war aber das Material trocken und verdankte seine Fähigkeit, sich im Thale wie eine Flüssigkeit auszubreiten, nur der rapiden Pulverisierung großer Gesteinsmassen beim stürmischen Herabgleiten. Mit so furchtbarer Gewalt erfolgte der Absturz des Schuttstromes, daß dessen Bahn tief ausgehöhlt und alle Vorsprünge abgehobelt und dem verheerenden Schuttstrom einverleibt wurden. In den Seitenthälern des Nagase wurden die Wasserläufe zu großen Seen gestaut. Die ausgeschleuderte Bergmasse wird auf 1,123 ckm berechnet.

Am Berge selbst war eine bedeutende Veränderung vor sich gegangen. Der Gipfel des kleinen Bandai war vollständig ausgehoben, an seiner Stelle gähnte ein steilwandiger, 500 m tiefer Explosionskrater, durchklüftet von einer gegen Nordnordwesten gerichteten Spalte. An dieser war der Ausbruch exzentrisch erfolgt, unter Verlegung des Schlotes, wie dies bei Eruptionen nach langen Ruheperioden so häufig der Fall ist, und lange Zeit nachher stieg aus der Spalte eine Reihe mächtiger Dampfsäulen auf.

Offenbar lag die Ursache des Ausbruchs in der plötzlichen Ausdehnung der im Berge eingeschlossenen Dampfmassen. Weder von Lava, noch von Bimsstein oder anderen Zerstäubungsprodukten war eine Spur nachweisbar, das ausgeschleuderte Material gehörte ausschließlich den durch Solfatarenthätigkeit veränderten alten Tuffmassen des Kobandai an. Die ganze furchtbare Erscheinung bestand in einer mächtigen Wasserdampfexplosion, und ihr Resultat war die Bildung eines exzentrischen Explosionskraters nach Art der Caldera, des Val del Bove oder des Papandajang. Was wir in den letztgenannten Fällen aus dem späteren Zustand und dem Bau der betreffenden Vulkane erschließen mußten, hat sich am Bandai-San unter unseren Augen abgespielt; darin liegt die große Bedeutung dieser Katastrophe.

Die Anordnung der Vulkane Japans ist eine ziemlich verwickelte. E. Naumann und Toyokitsi Harada haben diesen Gegenstand näher untersucht und die Stellung der japanischen Vulkane mit dem Gebirgsbau in einer Weise in Zusammenhang gebracht, welche von großem Interesse ist und auf das Wesen der Vulkanreihen überhaupt Licht wirft. Der flachen Krümmung des japanischen Inselbogens liegt das Vorhandensein zweier Gebirgsrichtungen zu Grunde; im nordjapanischen, südlich an Sachalin anschließenden Bogen herrscht das nordsüdliche Streichen des Sachalin-Systems, der südjapanische Bogen dagegen streckt sich von Westsüdwesten gegen Ostnordosten in der Richtung des Sinischen Systems (s. Abbildung, S. 241). Auf Honsiu stoßen diese Gebirgsrichtungen in der Gegend des Quanto zusammen. Hier spricht sich ihre „Scharung" in einer mit Vulkanen besetzten queren Bruchlinie aus, welche von T. Harada nach dem

Übersichtskarte der japanischen Vulkane. (Nach T. Harada.)

dem gewaltigen Fuji als Fuji-Zone bezeichnet wurde. Die Vulkane der Halbinsel Idzu und zahlreiche aktive Inselvulkane, wie Osima, Amagi, Tosima, zeigen den Verlauf dieser Zone an, als deren weit in den Stillen Ozean ausstrahlende Fortsetzung die vulkanischen Bonin-Inseln und die Marianen zu erkennen sind. Ein gleich der Fuji-Zone eminent vulkanischer Querbruch schließt den südjapanischen Bogen nach Westen ab. Er umfaßt die Kirisima-Zone, benannt nach dem Vulkan Kirisima, und die Vulkane der Satsuma-See: Sakurajima, Iwojima, die Sieben Geschwister-Inseln umschließend. Mitten durch die ganze Erstreckung des Inselbogens zieht eine andere wichtige tektonische Linie durch; sie scheidet eine gefaltete, an Eruptivmassen arme Außenseite von der von vielen Spalten und Brüchen durchzogenen und gegen das asiatische Festland gekehrten Innenseite. Diese letztere kennzeichnet Harada als einen der zerrissensten und gebrochensten Teile der Erde. Der Zahl und Größe der Spalten entspricht die überreiche vulkanische Thätigkeit, die sich hier und zwar namentlich am nordjapanischen Bogen abspielt. Auf Honsiu zeigen die Vulkane eine Anordnung in drei Parallelreihen; die äußere ist am reichsten mit Ausbruchsstellen, darunter auch dem Bandai, bedacht, und es scheinen auch kurze Nebenreihen an Querspalten vorhanden zu sein. Die zahlreichen Vulkane in West-Jeso bilden die Fortsetzung dieser Reihe.

Ungleich ärmer an Vulkanen ist die Innenseite des südjapanischen Bogens; eine reihenförmige Anordnung, und zwar in vier Reihen, ist auch hier erkennbar. Auf der gefalteten Außenseite des Gebirges beschränkt sich das vulkanische Leben auf das Vorhandensein ganz vereinzelter Ausbruchskegel, wie des Yunotake in Iwaki.

Die nördlichste Bogenreihe der ostasiatischen Vulkane bilden die Kurilen und die Halbinsel Kamtschatka. Die ersteren liegen in ihrem Beginn quer zum Sachalinschen Gebirgssystem und scheinen sonach auf einer radial auslaufenden Spalte aufgebaut zu sein. An die Kurilen schließt unmittelbar der gewaltige Feuerkranz der kamtschadalischen Vulkane an, der an Macht und Ausbreitung der eruptiven Thätigkeit hinter keinem Striche der Erde, Java ausgenommen, zurücksteht. Die Halbinsel wird der Länge nach von einem Kettengebirge, dem Kamtschadalischen Mittelgebirge, durchzogen, und dieses ist durch das Thal des Kamtschatkaflusses von der an der pazifischen Küste gelegenen Vulkanreihe getrennt. Letztere beginnt im Süden am Kap Lopatka und endet im Norden mit dem Schiweljutsch. Viele der kamtschadalischen Vulkane sind von außerordentlicher Größe und Bedeutung; so trägt der Uson einen kreisrunden Krater von mehr als 1 Meile großem Durchmesser. Von Ditmar fand ihn im Jahre 1854 mit Vegetation bestanden und mit einzelnen nackten Lehm- und Sandhügeln bedeckt, in welchen ein sehr dünnflüssiger, hellgrauer Lehm bei 92,5—107,5° C. kochte und brodelte. Kleine Dampfsäulen stiegen auf, der Kratergrund war mit Schwefel, Gips und Sprudelstein bedeckt. Die Solfataren- und Fumarolenthätigkeit dieses Kraters scheint mit der der Askja auf Island viel Ähnlichkeit zu haben.

Vor allen anderen ist durch ihre Größe und die fast unausgesetzte Thätigkeit ausgezeichnet die Klutschewskaja Sopka, neben dem Kilimandscharo der höchste rein vulkanische Berg der Erde, der sich direkt von der Küste zu 4886 m oder nach einer anderen Angabe selbst zu 5180 m erhebt; wohl gibt es eine Reihe von Vulkanen, deren Spitzen höher liegen, aber diese sind nicht vom Fuße bis zum Gipfel vulkanische Aufschüttungskegel, sondern sie haben sich über einer nicht vulkanischen Hochebene oder auf einer Gebirgskette aufgebaut, wie das z. B. in Südamerika oder Mexiko der Fall ist. Bei dem Ausbruch des Jahres 1854 brach die Klutschewskaja Sopka die Thätigkeit zu derselben Zeit ab, als der Schiweljutsch sie aufnahm, es scheint sonach ein innerer Zusammenhang zwischen diesen Vulkanen zu bestehen. Auch das Kamtschadalische Mittelgebirge trägt untergeordnete Vulkanberge, die aber in historischer Zeit keinen Ausbruch gehabt haben.

Die Verbindung zwischen Asien und Nordamerika wird durch die der Beringstraße südlich vorgelagerten Aleuten hergestellt, welche einen kräftig geschwungenen, gegen Süden konvexen

Bogen bilden. Ganz im Westen dieser Reihe sind keine Ausbrüche bekannt; die Vulkane beginnen erst etwas weiter östlich und werden steiler und höher, je mehr man sich Amerika nähert; man zählt ihrer 48, welche alle in neuerer Zeit thätig waren. Unter ihnen finden wir auch die im Jahre 1796 neu entstandene Insel Joanna Boguslawska, deren früher Erwähnung gethan wurde.

Die amerikanischen Vulkane.

Die aleutische Reihe der Vulkane setzt sich auf dem Festland von Nordamerika in der Halbinsel Alaska mit fünf Vulkanen fort, und zwei weitere Feuerberge liegen auf benachbarten Inseln. Das Jahr der großen Krakatau-Katastrophe brachte hier, wie auch unter den Aleuten, vermehrte vulkanische Regsamkeit. Die seit Menschengedenken unthätige Insel St. Augustin oder Tschernaboura hatte am 6. Oktober 1883 einen explosiven Ausbruch mit starkem Aschenwurf, der in der Spaltung der Insel bis zum Meeresspiegel kulminierte. Eine mächtige Flutwelle ging vom Vulkan nach allen Seiten aus. Aus dem ehemals russischen Amerika werden noch einige andere Vulkane erwähnt, von welchen der 5444 m hohe Eliasberg am bekanntesten ist, doch wird dessen jungeruptive Natur mehrfach in Zweifel gezogen; weiter nördlich befindet sich am Kupferfluß der 200 km von der Küste entfernte, 5300 m hohe und noch thätige Mount Wrangell.

Ehe wir die weiter südlich gelegenen Vorkommnisse ins Auge fassen, müssen wir in wenigen Worten den Gebirgsbau der westlichen Teile Nordamerikas klarlegen. Ein mächtiges Kettengebirge beginnt hoch im Norden, nahe der Küste, zieht dann durch den westlichsten Teil von Britisch-Nordamerika und als Cascade Range und Sierra Nevada durch die Vereinigten Staaten; hier aber liegt diese Kette nicht unmittelbar am Meere, sondern ist von diesem durch das Küstengebirge oder die Coast Range getrennt. Ein drittes gewaltiges Gebirgssystem bildet das Felsengebirge oder die Rocky Mountains, welche, vom Nördlichen Eismeer nach Süden gerichtet, ebenfalls Britisch-Nordamerika und die Vereinigten Staaten durchschneiden; sie liegen bedeutend weiter östlich als der Gebirgszug der Cascade Range oder der Sierra Nevada, und zwischen beiden befindet sich ein weites Binnengebiet, mächtige Tafelländer, selbst wieder von gewaltigen Gebirgen durchzogen. Innerhalb der Vereinigten Staaten fallen in diese Mulde, das Great Basin, zwischen Rocky Mountains und Sierra Nevada die Staaten Idaho, Utah, Nevada und Arizona in ihrer Gesamtheit, Washington, Oregon, Kalifornien mit ihrem östlichen, Colorado und Neumexiko mit ihrem westlichen Teil.

In der Cascade Range, zwischen Mount Baker und Lassen's Peak, breitet sich ein mehr als 800 km langes, ungeheures Lavafeld aus. Es umfaßt außer der genannten Gebirgskette sehr große Flächen in Oregon, Washington und Idaho und greift weit in die umliegenden Staaten. Le Conte, welcher die Ausdehnung dieses Gebietes jener von ganz Frankreich gleichstellt, hat gezeigt, daß am Columbiafluß unter den an 1300 m mächtigen Lavadecken geologisch junge Tertiärablagerungen mit Pflanzenresten liegen. Die Hauptergüsse in den großen Basaltebenen dürften nach A. Geikie größtenteils unmittelbar aus Spalten erfolgt sein, ohne dauernde Kraterbildung. Nur während der letzten Periode der Ausbrüche wurden auf der Oberfläche da und dort kleinere Aschenkegel aufgeschüttet, denen aber wohl nur die Bedeutung von Adventivkratern, oder besser die von Spratzkegeln beizumessen ist. Das Maximum der vulkanischen Thätigkeit fällt in dieser Gegend, wie im ganzen nordamerikanischen Westen, mit dem Schlusse der Pliocänperiode zusammen, doch haben auch noch später, vielleicht bis in die jüngste Vergangenheit, einzelne Eruptionen stattgefunden.

Im Kaskadengebirge dagegen ist die vulkanische Thätigkeit auch heute noch ziemlich beträchtlich. Eine lange Reihe gewaltiger, beschneiter und auch gletschertragender Vulkane liegt teils auf der Höhe dieses Gebirgszuges, teils auf der Westseite desselben, wie der im Solfatarenzustand befindliche, über 3000 m hohe Mount Hood und der noch höhere Mount Rainier mit guterhaltenem Krater. Der weit im Norden gelegene Mount Baker hatte noch im Jahre 1880 einen Ausbruch, und auch Mount Helens hatte zugleich mit Mount Baker in den Jahren 1842 und 1843 starke Eruptionen. Lassen's Peak und der schön geformte Mount Shasta (s. untenstehende Abbildung) sind dagegen erloschen. Der letztere zeigt einen sehr gut erhaltenen Nebenkrater, Shastina. Eine besondere Merkwürdigkeit des Kaskadengebirges bildet der große Kratersee in Oregon, welcher 12 km lang und 8 km breit ist und daher eins der größten Phänomene dieser Art bildet. In der Nähe des Südwestendes erhebt sich ein exzentrischer Aschenkegel aus dem tiefblauen Wasser.

Der Mount Shasta in Kalifornien. (Nach Dana.)

In der südlichen Fortsetzung des Kaskadengebirges, der Sierra Nevada, kommen wieder Granite und geschichtete Formationen in großer Ausdehnung zum Vorschein, dagegen sind ausgedehnte Eruptivmassen am Ostfuße der Sierra und in verschiedenen Teilen des Great Basin und auf dem Coloradoplateau bekannt, und auch hier haben sich einzelne Eruptionen bis in die jüngste Vergangenheit hinein abgespielt. Es würde zu weit führen, die vulkanischen Vorkommnisse dieses merkwürdigen Gebietes, zu denen auch die später zu besprechenden Lakkolithen gehören, im Detail zu behandeln; wir werden uns auf einige bemerkenswerte Punkte beschränken müssen.

Ein solcher ausgezeichneter Eruptionspunkt ist der 10 englische Meilen nordöstlich vom Lassen's Peak am Snag Lake gelegene Cinder Cone, ein vegetationsloser, vollkommen intakter Schlackenkegel von modellartiger Regelmäßigkeit (vgl. Abbildung, S. 245). Er ist 200 m hoch auf eine Unterlage aufgeschüttet, welche selbst 2140 m über dem Meeresspiegel gelegen ist. Der Fuß des Vulkans wird von vulkanischen Bomben umsäumt, am Gipfel öffnet sich ein steilwandiger, 72 m tiefer Krater. Aus diesem wurden nur Asche, Bimsstein, Lapilli und Bomben ausgeworfen, die Lava selbst trat am Fuße des Vulkans hervor und ergoß sich nach zwei Richtungen ins Thal, den Bidwellsee teilweise ausfüllend. Von weitem sieht das schwarze Lavafeld eben wie ein Tisch aus, bei näherer Betrachtung aber zeigt es sich, daß die Oberfläche aus wild zerstückter Blocklava besteht. Offenbar war die Lava zur Zeit des Ergusses in schwerflüssigem Zustande; wo sie den seichten Bidwellsee überzog, sind auf der Oberfläche sekundäre Kegel- oder Lavawindpfeifen zu sehen, die durch die vermehrte Dampfausströmung infolge der feuchten Unterlage verursacht wurden. Den Rand des Lavafeldes bildet nach allen Seiten ein Steilabsturz von 30 m Höhe.

Aufschlüsse am Lavafeld ermöglichten es dem amerikanischen Forscher S. Diller, ein recht vollständiges Bild von der Geschichte dieses Vulkans zu entwerfen. Es lassen sich zwei durch eine längere Ruhepause getrennte Perioden eruptiver Thätigkeit unterscheiden. Zuerst wurde durch eine heftige explosive Eruption das Bimsstein- und Aschenfeld, welches den Vulkan im Umkreis von 12,8 km umgibt, gebildet und der Cinder Cone aufgeschüttet. Das Magma mußte gas- und dampfreich gewesen sein, um den blasigen Bimsstein und die Asche zu liefern, aber es war nicht gasreich genug, um auch den feinsten vulkanischen Dunst zu schaffen, da am Rande des Aschenfeldes keine Spur davon zu sehen ist. Dann folgte der Auswurf von Lapilli und dich-

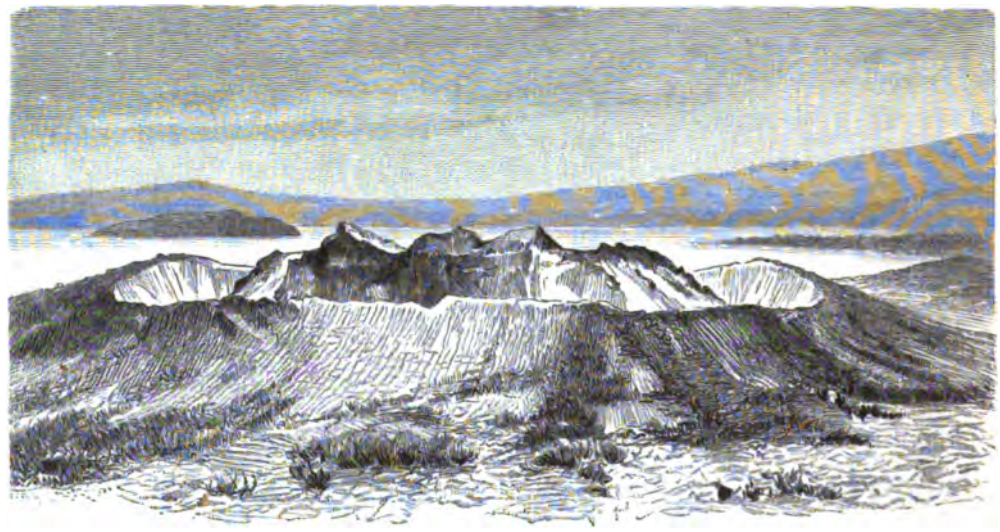
Der erloschene Vulkan Cinder Cone am Snag Lake, Great Basin, Nordamerika. (Nach J. S. Diller.)
Vgl. Text, S. 244.

ten Bomben aus dem tieferen und weniger gasreichen Teile des Magmas. Die nächstfolgende Phase war der ältere Lavaausbruch am Fuße des Kegels, begleitet von einem leichten Schauer von Sand und Lapilli. Nach diesem Cyklus von Erscheinungen trat Ruhe ein. Auf einem Teile des Lavafeldes im Bidwellsee lagerte sich eine 10 Fuß mächtige Schicht von Infusorienerde ab. In der zweiten Periode der Aktivität hat sich ohne explosive Erscheinungen die jüngere viskose Blocklava ergossen, welche das tafelförmige Lavafeld gebildet und den Snag Lake vom Thale abgeschnürt hat.

Von dieser jüngeren Lava wurden Bäume überwältigt, deren Stümpfe noch erhalten sind. Diller sah sich hierdurch veranlaßt, unter den ältesten Kolonisten und Indianern deshalb Nachfrage zu halten, doch waren diese Bemühungen erfolglos. Dagegen bietet die Natur im Baumwuchs auf dem Eruptionsfeld und in der oben erwähnten Ablagerung von Infusorienerde zur Beurteilung des Alters der Eruptionen einige Anhaltspunkte, welche den Schluß gestatten, daß seit dem älteren Ausbruch mindestens 200, seit dem jüngeren mindestens 50 Jahre verflossen

sind. Die Lava des Cinder Cone ist basaltischer Natur; merkwürdigerweise ist sie reich an Quarzkörnern.

Ein anderes Vulkangebiet von jugendlichem geologischen Alter befindet sich südlich vom Cinder Cone am abflußlosen Monosee in ähnlicher geologischer Stellung zwischen dem Ostabfall der Sierra Nevada und dem großen Tafelland. Auf den Inseln Pa-o-ha und Negit im Monosee befinden sich mindestens zehn wohlerhaltene Krater, und südlich von dem genannten Salzsee liegt eine schwach bogenförmig gekrümmte und aus 20 Kraterkegeln bestehende Vulkanreihe, welche man in ungefähr nordsüdlicher Richtung 16 km weit verfolgen kann. Der Hauptkegel erhebt sich 838 m über den Spiegel des Monosees und 2890 m über den Meeresspiegel, und auch die übrigen Eruptionspunkte erreichen bedeutende Höhen, so daß diese Vulkankette nicht nur einen eigentümlichen, sondern auch einen großartigen Eindruck hervorrufen würde, wenn sie nicht durch



Der Panum-Krater am Monosee in Kalifornien. (Nach J. C. Russel.)

die gewaltigen Höhen der benachbarten Sierra Nevada, besonders des Mount Dana, gedrückt würde. Einzelne dieser Vulkane bestehen nur aus hellen Lapilli, andere nur aus Schlacke, wieder andere führen außer Lapilli auch Lava, die bald über den Kraterrand geflossen, bald im Krater selbst in Form eines breiten Kraterkuchens (vgl. obenstehende Abbildung) stehen geblieben ist, eine Erscheinung, die auch in anderen Gegenden bekannt ist, wo, wie hier, saure, schwerflüssige und rasch erkaltende Laven gefördert werden. Auffallend ist der Kontrast zwischen den hellen Aschenkegeln und den dunkeln, massigen, jäh begrenzten Rhyolith- und Obsidianströmen. Die Vulkane der Mono-Region haben ihre Thätigkeit nachweisbar schon in der Diluvialzeit aufgenommen, aber ebenso sicher hat ihre Aktivität die Periode des Gletscherrückzugs und des Rückganges der abflußlosen Seen in nachdiluvialer Zeit überdauert, denn wir sehen eiszeitliche Moränen von vulkanischer Asche bedeckt und die Krater im Monosee weder mit Seeablagerungen erfüllt noch mit Strandlinien als Marken eines ehemals höheren Wasserstandes versehen. Gegenwärtig bilden schwache Fumarolen und heiße Springquellen auf Pa-o-ha und Negit die letzten Nachklänge der ehemaligen vulkanischen Regsamkeit.

Gilbert hat uns mit jungen vulkanischen Bildungen aus der Gegend südlich vom Großen Salzsee bekannt gemacht. Bei Fillmore liegen die Ice Spring Craters, welche aus drei kleineren wohlerhaltenen Kegeln und neun Kraterruinen bestehen und aus losen Schlacken

aufgebaut sind. Der größte ist um 76 m höher als seine Umgebung. 16 km nördlich von den Ice Spring Craters befindet sich der 244 m hohe Tuffkegel Pavant Butte und südlich davon der mit doppeltem Kraterring versehene Tabernakel-Krater, so benannt wegen seiner Ähnlichkeit mit dem Mormonentabernakel in Salt Lake City. Das abflußlose Gebiet der Carsonwüste, nördlich vom Monosee, ist ebenfalls durch das Vorkommen jugendlicher niedriger Kegel mit tiefem und weitem Schlund ausgezeichnet. Der Große und der Kleine Sodasee liegen in diesen Kratern, die eine gewisse Verwandtschaft mit den oben beschriebenen Maaren bekunden.

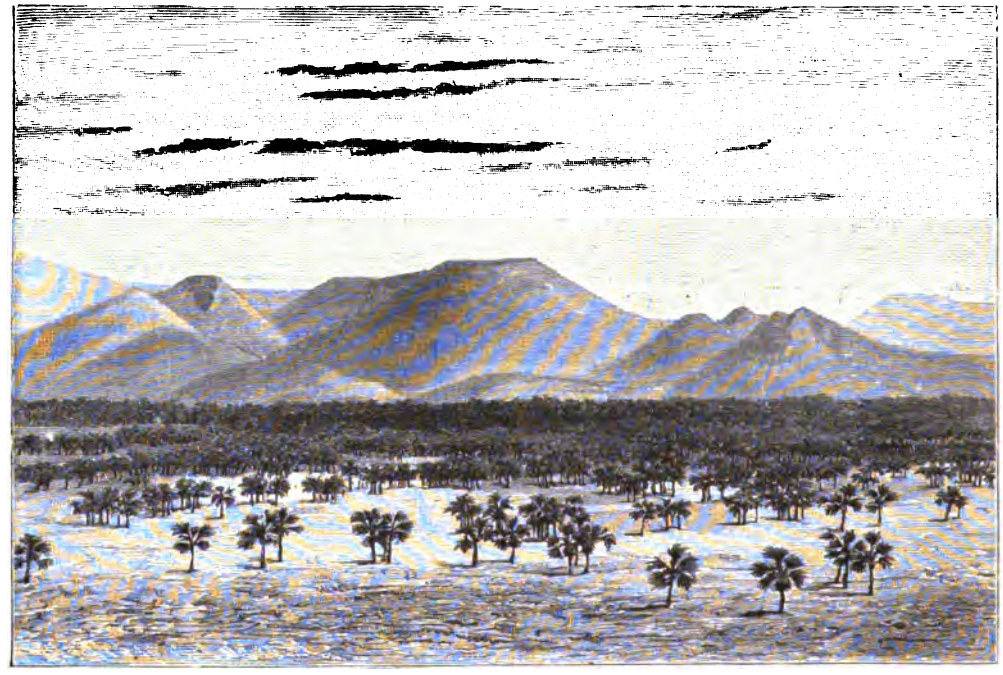
Im südlichen Teile des großen Tafellandes breiten sich am Plateau Uinkaret auf der Nordseite des großen Cañon des Colorado und in noch größerer Ausdehnung in der Gegend südlich davon ältere Basaltdecken weithin aus. Daneben bestehen auch jüngere Eruptionen von bescheidenerem Ausmaß, und von diesen wollen wir nur jene kleinen, durch die näheren Umstände ihres Auftretens bemerkenswerten Aufschüttungskegel im großen Colorado-Cañon in Betracht ziehen. Wie weiter unten näher beschrieben werden wird, besteht das Cañon des Colorado aus einer an 2000 m tiefen, das ganze Tafelland durchziehenden und stark verzweigten Schlucht mit staffelförmigen, senkrecht abfallenden Wänden. Man sieht im Toroweapthal feine, fast fadenförmige basaltische Lavagänge die horizontalen Schichten einer 800 m hohen, nackten Wand durchschneiden. Mehrere Gänge brechen im Cañon selbst durch (s. Abbildung, S. 271), einer aber reicht bis auf die Höhe des unteren Plateaus, der sogenannten Esplanade, und auf diesem ist ein durch Erosion und Nachbruch mitten entzweigeschnittener Vulkankegel mit seinem bezeichnenden Schichtenbau aufgesetzt. Von der Höhe des Plateaus stürzten aus dem Vulkan feurige Lavafluten in mächtigen Kaskaden 600 m, ja selbst 800 m tief in den schauerlichen Abgrund des Cañons und begleiteten den Strom manche Meile abwärts. In einer Periode wurde das Flußbett durch Lava um 120 m erhöht, der Strom hat aber seither diese Bodenschwelle wieder überwältigt und vertieft von neuem das wiedergewonnene alte Bett. Das staunenswerte Schauspiel der vom Uinkaret-Plateau zur Tiefe ergossenen Lava ist bei der „Vulkans Thron" genannten Ausbruchsstelle besonders einleuchtend, „es erzählt die Geschichte so klar, daß ein Kind sie lesen und verstehen kann" (Dutton). Ungleich schwerer aber ist der Umstand zu begreifen, wieso die basaltische Lava in engen Spalten zu so bedeutenden Höhen aufsteigen konnte, ohne an den Wänden zu erkalten und den Weg nach aufwärts zu verlegen.

Die Zahl der Krater der letzten Ausbruchsperiode beträgt nördlich vom Coloradofluß ungefähr 150. Die meisten sind klein, nur wenige erreichen eine Höhe von 210 – 245 m. Obwohl ziemlich regellos über verschiedene Teile des Plateaus verstreut, lassen sie doch zumeist eine lineare Anordnung erkennen, merkwürdigerweise aber meiden sie mit Ausnahme von „Vulkans Thron" die großen Hauptverwerfungslinien und bevorzugen feine, kaum nachweisbare Spalten, welche ohne Verwerfung des geschichteten Tafellandes einhergehen. Die Lava erscheint so frisch, wie ein vor 20 oder 30 Jahren geförderter Strom des Vesuvs. Auf der Oberfläche hat sich Bimsstein der feinsten Art erhalten, so daß Dutton die Meinung ausspricht, die jüngsten Ergüsse müßten nach der spanischen Besitzergreifung erfolgt sein, und ein lokales Wiedererwachen des Vulkanismus nicht für gänzlich ausgeschlossen hält.

Einige Worte müssen wir noch über die vulkanischen Erscheinungen der kalifornischen Küstenkette beifügen. Auch in dieser sind jugendliche, mit Lapilli bedeckte Krater, basaltische Laven und Gläser bekannt, wie der Mac Pike Crater und mehrere andere in der Umgebung der als Quecksilberlagerstätte bekannten Sulphur Bank am Clear Lake. Es scheint, daß noch vor 40 Jahren in dieser Gegend Ausbrüche vor sich gegangen sind. Während die vulkanischen Vorkommnisse der Sierra Nevada, des Great Basin und des Colorado-Plateaus keine regelmäßige Verteilung erkennen lassen, treten sie, und dies ist bemerkenswert, in der Küstenkette an Längsbrüchen parallel

zur Erstreckung des Gebirges auf, und man kann einen förmlichen Gürtel von vulkanischen Gesteinen durch die ganze Küstenkette hindurch verfolgen.

Sehr eigentümliche Verhältnisse finden wir bei den mexikanischen Vulkanen. Das Maximum der vulkanischen Thätigkeit fällt nicht, wie man meinen könnte, in die Küstenregion, sondern folgt einer quer durch das Land vom Stillen zum Atlantischen Ozean verlaufenden Zone, welche mit dem südlichen Abbruch des mexikanischen Tafellandes zusammenfällt. An dieser Hauptspalte liegen der Popocatepetl, der Cerro de Ajusco, der Nevado de Toluca, die Vulkane von Patzcuaro, der Patamban und die Bufa de Mascota, vielleicht auch ganz im Osten der Vulkan von Tuxtla. Südlich von der Hauptspalte erheben sich auf einer Parallellinie der Jorullo, der



Der Jorullo in Mexiko. (Nach Originalphotographie von Dr. H. Lenk.) Vgl. Text, S. 249.

Pik von Tancitaro und die Vulkane von Colima. Die querlaufende Hauptspalte wird nach Felix und Lenk von einer Anzahl von Norden her in der Richtung des Anden-Streichens ziehenden Nebenspalten gekreuzt, und auch auf diesen sind Vulkane aufgesetzt, so der Pik von Orizaba (Citlaltepetl 5393 m), der Cofre de Perote, das Vulkangebiet von San Andres, die Vulkangruppe von Zamora und der Ceboruco. Auf einer vom Popocatepetl nordwärts abzweigenden Linie liegt der gletschertragende Iztaccihuatl. Außerdem treten auch auf dem Tafelland selbst vulkanische Massen ohne regelmäßige Anordnung auf. Während der 5420 m hohe und seit dem Ende des 17. Jahrhunderts ruhende Popocatepetl (s. die beigeheftete Tafel) ein echter Tuffvulkan ist, mit Spuren einer alten Somma und einem exzentrischen Gipfelkrater, bildet der Iztaccihuatl, nach Felix und Lenk, einen vielzackigen, bis 4800 m hohen Kamm und ist durch einen mächtigen Spaltenerguß entstanden. Seine Abhänge sind mit sandigen, vom Popocatepetl herrührenden Aschen bedeckt. Mehrere der mexikanischen Vulkane sind bereits erloschen, anderseits kamen mehrfach Neubildungen von Vulkanen vor, so entstand im Jahre 1759 der Jorullo, im Jahre 1870 der Pochutla, und im Jahre 1881 bildete sich ein neuer Vulkan im Gebirge von Ajusco, ungefähr 36 geographische Meilen von beiden Ozeanen entfernt.

Der Gipfel des Popocatepetl. (Nach Photographie von A. Jenn.)

Infolge der großen Rolle, welche die Bildung des Jorullo in der Entwickelung der Vulkanologie gespielt hat, müssen wir uns mit diesem Berge etwas näher beschäftigen (s. Abbildungen, S. 248, 249 u. 250). Humboldt berichtet über ihn im vierten Bande des „Kosmos" (gekürzt):

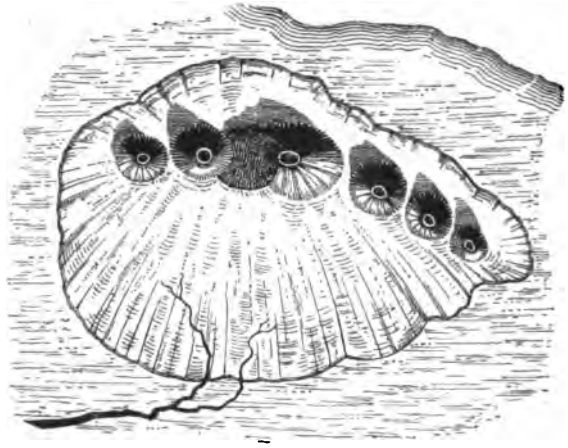
„In der Reihe der mexikanischen Vulkane ist das größte und seit meiner amerikanischen Reise berufenste Phänomen die Erhebung und der Lavaguß des neuerschienenen Jorullo. Dem Ausbruch in einer weiten, lange friedlichen Ebene der ehemaligen Provinz Michoacan in der Nacht vom 28. auf den 29. September 1759, über 30 geographische Meilen von jedem anderen Vulkan entfernt, ging seit dem 29. Juni desselben Jahres ein ununterbrochenes unterirdisches Ge-

Der Krater des Jorullo. (Nach Pieschel.)

töse voran. Der Ausbruch des neuen Vulkans um 3 Uhr morgens verkündigte sich am Tage vorher durch eine Erscheinung, welche bei anderen Eruptionen nicht den Anfang, sondern das Ende zu bezeichnen pflegt. Da, wo gegenwärtig der große Vulkan steht, befand sich ehemals ein dichtes Gebüsch von der bei den Eingeborenen beliebten Guyava. Arbeiter aus den Zuckerrohrfeldern der Hacienda de San Pedro Jorullo waren ausgegangen, um Guyavafrüchte zu sammeln. Als sie nach der Hacienda zurückkamen, bemerkte man mit Erstaunen, daß ihre großen Strohhüte mit vulkanischer Asche bedeckt waren. Es hatten sich demnach schon in dem, was man heute Malpais (ein rauhes Lavafeld) nennt, Spalten gebildet, ehe noch in der Ebene sich etwas zu verändern schien. In den ersten Stunden der Nacht lag die Asche schon 1 Fuß hoch; alles floh gegen die Anhöhen von Aguasarco zu, einem Indianerdörfchen, das 2260 Fuß höher als die ehemalige Ebene von Jorullo liegt. Von diesen Höhen aus sah man, so geht die Tradition, eine große Strecke Landes in furchtbarem Feuerausbruch, und mitten zwischen den Flammen, wie sich die

ausdrückten, welche das Bergaufsteigen erlebt, erschien gleich einem schwarzen Kastell ein großer, unförmlicher Klumpen.

„Nach der weit und übereinstimmend unter den Eingeborenen verbreiteten Tradition soll in den ersten Tagen der Ausbruch von großen Felsmassen, Schlacken, Sand und Asche immer auch mit einem Erguß von schlammigem Wasser verbunden gewesen sein. Alle Augenzeugen erzählen, daß, ehe der furchtbare Berg erschien, die Erdstöße und das unterirdische Getöse sich häuften, am Tage des Ausbruchs selbst aber der flache Boden sich sichtbar senkrecht erhob und das Ganze sich mehr oder weniger aufblähte, so daß Blasen erschienen, deren größte heute der Vulkan ist. Diese aufgetriebenen Blasen, von sehr verschiedenem Umfang und teilweise sehr regelmäßig konischer Gestalt, platzten später und stießen aus ihren Mündungen kochend heißen Erdschlamm wie verschlackte Steinmassen aus, die man, mit schwarzen Steinmassen bedeckt, noch bis in ungeheure Ferne auffindet. Diese historischen Nachrichten, die man freilich ausführlicher wünschen möchte, stimmen ganz mit dem überein, was ich im Jahre 1803 aus dem Munde der Eingeborenen hörte.



Plan des Jorullo. Vgl. Text, S. 249.

„An dem westlichen Abfall der von Südsüdosten nach Nordnordwesten streichenden Zentralkette von Mexiko bildet die Ebene von Jorullo in nur 2400 Fuß über der Südsee eine von den horizontalen Bergstufen, welche überall in den Kordilleren die Neigungslinie des Abfalls unterbrechen. Der rundliche, konvexe Teil der gehobenen Ebene hat ungefähr 12,000 Fuß im Durchmesser, also ein Areal von mehr als 1/3 geogr. QMeile. Der eigentliche Vulkan von Jorullo und die fünf anderen Berge, die sich mit ihm zugleich auf einer Spalte erhoben haben, liegen so, daß nur ein kleiner Teil des Malpais östlich von ihnen fällt. Die Vergleichung der Barometerstände des Punktes, wo die Hebung in der Ebene anfängt, mit dem Punkte unmittelbar am Fuße des Vulkans ergibt einen Höhenunterschied von 444 Fuß. Das Haus, welches wir bewohnten, stand fast 1 km von dem Rande des Malpais ab. Es fand sich dort ein kleiner, senkrechter Absturz von kaum 12 Fuß Höhe, von welchem die heiß gewordenen Wasser des Baches herabfallen. Was ich dort am Absturz von dem inneren Bau des Erdreichs untersuchen konnte, zeigte schwarze, horizontale Lettenschichten, mit Sand gemengt. An anderen Punkten, die ich nicht gesehen, hat Burkart ‚an der senkrechten Begrenzung des erhobenen Bodens, wo dieser schwer zu ersteigen ist, einen lichtgrauen, wenig dichten Basalt mit vielen Körnern von Olivin' beobachtet. Dieser genaue und erfahrene Beobachter hat aber an Ort und Stelle, ganz wie ich, die Ansicht von einer durch elastische Dämpfe bewirkten blasenförmigen Hebung der Erdoberfläche gefaßt, entgegengesetzt der Meinung berühmter Geognosten, welche die Konvexität allein dem stärkeren Lavaerguß am Fuße des Vulkans zuschreiben.

„Die vielen Tausende der kleinen Auswurfskegel (Hornitos), eigentlich mehr rundlicher oder etwas verlängerter backofenartiger Form, welche die gehobene Fläche ziemlich gleichmäßig bedecken, sind im Mittel von 4—9 Fuß Höhe. Sie sind fast allein auf der westlichen Seite des großen Vulkans emporgestiegen, da ohnedies der östliche Teil kaum 1/25 des Areals der ganzen blasenförmigen Hebung ausmacht."

Auch diese Hornitos wurden für Erhebungserscheinungen gehalten. Später hat namentlich Saussure den Jorullo besucht und ist mit vollster Entschiedenheit zu dem entgegengesetzten Resultat gelangt: „Der Vulkan Jorullo ist sicherlich nicht durch Erhebung entstanden, und seine Phänomene, weit entfernt, zu gunsten der erhebenden Wirkung der vulkanischen Kraft zu sprechen, zeigen im Gegenteil, daß die mächtigsten Ausbrüche stattfinden können ohne die geringste Änderung in der Lage der Oberflächenschichten." Scrope faßt die Deutung der Erscheinungen folgendermaßen zusammen: „Sechs Schlünde hatten sich auf einer nordsüdlichen Spalte in einer Tiefebene geöffnet, über deren jedem ein gewöhnlicher Aschenkegel durch die fortdauernden Schlackenauswürfe aufgehäuft war, während wahrscheinlich aus allen diesen, aber hauptsächlich aus dem größten und zentralen Kegel des eigentlichen Jorullo, reichliche Ströme einer unvollkommen flüssigen, basaltischen Lava ergossen wurden, welche auf keine große Entfernung flossen, sondern sich übereinander zu einer hohen, konvexen Plattform, dem Malpais, häuften. Die letzte Lavaergießung geschah aus dem ausgebrochenen Krater des Jorullo selbst, und sie bildete infolge des äußerst geringen Flüssigkeitsgrades ein massives Vorgebirge oder einen Strebepfeiler, den man noch jetzt von der Seite des Kegels ausgehen sieht, während der Fuß mit der Lava des Malpais gemengt ist. Gewaltige Ausbrüche schwarzer Asche gehörten zu den zuletzt erwähnten Eruptionserscheinungen, und die rauhen Protuberanzen über den Fumarolen des Lavastroms, bedeckt von einer 1 oder 2 Fuß dicken Schicht dieser Bruchstücke, welche unter dem Einfluß heißer Dämpfe konkretionäre Struktur annahm, bildeten die heuschoberartigen Hornitos." (Aus zwei Stellen in Scropes Werk kombiniert).

Bei einer von Felix und Lenk im Jahre 1888 ausgeführten Untersuchung des Jorullo wurde nur noch ein einziger Hornito in ziemlich guter Erhaltung vorgefunden, die übrigen waren bereits zusammengebrochen. Die genannten Forscher schreiben dieser früher für so wichtig gehaltenen Erscheinung nicht einmal die Bedeutung von Spratzkegeln zu, sondern bezeichnen sie als einfache Aufblähungen, welche durch das Entweichen von Gasen und Dämpfen aus dem halbstarren und mit losen Tuffmassen überschütteten Lavastrom entstanden sind.

Die Deutung des Jorullo, wie sie von Scrope gegeben wurde, ist ohne Zweifel in der Hauptsache richtig, und man wird den Jorullo nicht mehr als einen Beleg für die Erhebungstheorie anführen können; wir werden aber der Wirklichkeit vielleicht noch näher kommen, wenn wir, bereichert um die Erfahrungen der isländischen Eruptionen, den Ausbruch des Jorullo mit E. Reyer als einen Massenerguß von zähflüssiger Lava entlang einer Spalte ansehen, auf welcher eine Reihe sekundärer Kegel aufgeschüttet wurde. Aus einem der letzteren hat sich überdies auch Lava ergossen. Aschenfälle gingen dem Lavaausfluß voran und folgten in geringerer Menge zum Schluß der Eruption.

Das Auftreten der interozeanischen Querreihe in Mexiko, zu welcher auch der Jorullo gehört, ist eine höchst merkwürdige und auffallende Erscheinung, ja man kann sagen, daß sie auf der Erde ihresgleichen nicht hat. Sie wird um so interessanter, als in der Verlängerung dieser Linie gegen Westen die aller Wahrscheinlichkeit nach aktiv vulkanischen Revilla Gigedo-Inseln im Stillen Ozean liegen.

Der Soconusco im südlichsten Mexiko eröffnet die Reihe der zentralamerikanischen Vulkane, deren überaus zahlreiche Kegel von hier bis an das südwestliche Ende der Republik Costarica in dicht gedrängtem Schwarm auf einer Reihe stehen. Man teilt sie in der Regel nach den politischen Grenzen der Staaten, in denen sie liegen, in die Gruppen von Guatemala, San Salvador, Honduras, Nicaragua und Costarica ein, doch entspricht diese Trennung durchaus keinen natürlichen Abteilungen. In der Anordnung der Feuerberge und in ihrem Verhältnis zu den älteren Gebirgsketten machen sich einige Eigentümlichkeiten bemerkbar.

Das Verhältnis ist in den großen Hauptzügen ein derartiges, daß der breitere nordöstliche, an den Atlantischen Ozean grenzende Längsabschnitt von Zentralamerika aus einer Gebirgskette von älteren Massengesteinen, kristallinischen Schiefern und Sedimentärablagerungen besteht, während der schmälere südwestliche Teil an der pazifischen Küste dem Gebirge als flacheres Land vorliegt. Aus diesem letzteren niedrigeren Gebiet erheben sich nun die Vulkane, deren man wohl 60 zählen mag; sie bilden aber keine einfache Reihe, sondern stehen auf dieser breiten Zone bald vereinzelt, bald zu mehreren vereinigt auf Querspalten, welche von Südwesten nach Nordosten gerichtet sind, wie das in ähnlicher Weise schon von den Vulkanen auf Java und in Mexiko geschildert wurde. Im allgemeinen erreichen die zentralamerikanischen Vulkane keine sehr bedeutende Höhe; einige derjenigen, welche durch die unglaubliche Energie ihrer Thätigkeit ausgezeichnet sind, bilden sogar ganz unscheinbare Erhebungen. Das gilt z. B. und vor allen von dem Conseguina in Nicaragua, einem unbedeutenden Hügel von 162 m Höhe. Riesige Berge sind namentlich in nächster Nähe der Stadt Guatemala vorhanden, wo einige Gipfel über 4000 m aufragen. Hierher gehören die auf derselben Querspalte stehenden Vulkane Acatenango, der Volcan de Fuego und der Volcan de Agua, welch letztere ihre Namen daher erhalten haben, daß der eine durch Lavaströme, der andere durch Wasserausbruch aus seinem Kratersee Unheil stiftete. In San Salvador ist ein wichtiger Berg, der nur 641 m hohe Vulkan von Isalco, von C. von Seebach näher untersucht worden; er ist erst zu Ende des vorigen Jahrhunderts (im Jahre 1770 oder 1793) entstanden und seither in fast ununterbrochener Thätigkeit. Auch im Jahre 1879 hat sich in demselben Staat bei Ilopango, 12 km von der Stadt San Salvador, wieder ein neuer Vulkan gebildet.

In Nicaragua tritt uns zunächst an der nordwestlichsten Spitze, welche an dem Golf von Fonseca vorspringt, der Conseguina entgegen, der trotz seines geringen Umfanges doch, was die Macht seiner Ausbrüche anlangt, sich den gewaltigsten Vulkanen zur Seite stellt und mit dem Krakatau, dem Gunung Gelungung auf Java und dem Temboro auf Sumbawa in eine Linie gestellt werden kann. Eruptionen sind von 1709, 1809 und besonders von 1835 bekannt; der letztere Paroxismus „zeichnet sich vor allen dadurch aus, daß die Eruptionsprodukte in ungeheure Entfernungen geschleudert wurden, noch weiter als diejenigen des Temboro bei seinem berühmten Ausbruch von 1815, oder daß mit anderen Worten die Spannung eine Höhe erreichte wie bei keinem anderen vulkanischen Ausbruch.

„Die Eruption begann nach einer sechsundzwanzigjährigen Ruhe im Januar 1835. Unter heftigem Geräusch erhob sich eine dichte, pyramidenförmige Wolke, die sich mehr und mehr ausbreitete, bis sie die Sonne verdeckte. Schon nach Verlauf einer Stunde war unter Blitz und Donner der ganze Himmel verhüllt und alles in der tiefsten Finsternis. Am Nachmittag begannen die Erdbeben, die fortwährend an Heftigkeit zunahmen; Menschen wurden auf dem Wege durch die heftige Bewegung des Bodens umgeworfen. Der 23. Januar zeichnete sich durch den heftigen Donner aus, der den Salven schweren Geschützes glich; feine Asche fiel in so großer Menge, daß dadurch alles bedeckt wurde; der Aschenregen hielt bis zum 27. Januar an. In der weiteren Umgebung machten sich die Erscheinungen in verschiedener Weise bemerkbar. Am Ufer des Polochic hörte man vom 22. zum 23. ein Getöse in regelmäßigen Zwischenräumen; in der Stadt San Salvador schien der (weit näher gelegene) San Vincente in Eruption. Die völlige Finsternis, welche von der Menge der die Luft erfüllenden Asche herrührte, dauerte 43 Stunden; der Regen von Asche und Bimsstein bedeckte alles und verbreitete sich auf ungeheure Entfernung (s. Karte, S. 298). Die Asche flog bis Chiapa, 400 Stunden nördlich von dem Punkte der Eruption; zu St. Anné auf Jamaica, also in einer Entfernung von 400 engl. Meilen, fiel am 24. und 25. Asche, so daß sie mindestens täglich 170 Meilen zurückgelegt haben mußte. Unter 7° 26′

nördlicher Breite und 104° 45′ westlicher Länge vom Greenwich, 1100 engl. Meilen vom Conseguina entfernt, mußte das Schiff „Conway" 40 Meilen weit durch schwimmenden Bimsstein fahren. In der Bai von Fonseca entstanden zwei Inseln, etwa 300 Fuß lang, die sich nur durch die niedergefallene Asche angehäuft haben sollen; die Küste selbst wurde durch die Eruptionsprodukte um 800 Fuß breiter. In Santa Fé de Bogotá (in Südamerika, Republik Kolumbien) war der Donner so stark, als wenn er in unmittelbarer Nähe entstanden wäre, obwohl diese Stadt nahezu 391 deutsche Meilen vom Conseguina entfernt ist." (C. W. C. Fuchs.)

In Costarica bricht die Reihe der zentralamerikanischen Vulkane ab. Eine neue Kette von Feuerbergen ist es, welche die pazifische Küste von Südamerika begleitet, durch weite Strecken von jener getrennt und, wie ein Blick auf die Karte zeigt, in total verschiedener Richtung; Bergketten und Vulkane im westlichsten Teile Südamerikas gehören einem ganz anderen System an als jene von Zentralamerika. Eine wichtige Eigentümlichkeit der Feuerberge Südamerikas ist ihre bedeutende Entfernung vom Meere; nur die allersüdlichsten stehen wirklich nahe an der Küste, die meisten aber befinden sich sehr erheblich von ihr entfernt. Der Vulkan von Tolima steht 40 Meilen vom Meere, eine Anzahl anderer über 30 Meilen, und der Sangai, vermutlich der thätigste Vulkan der Erde, liegt 28 Meilen vom Ozean. Die meisten unter ihnen sind, im Gegensatz zu dem Verhältnis in Zentralamerika, der Gebirgskette der Anden aufgesetzt und verdanken die kolossalen Höhen, bis zu welchen sich die Gipfel der meisten erheben, zum großen Teil dem gewaltigen Sockel, über dem sie sich aufgebaut haben. Eine merkwürdige Eigenschaft, die sie mit den Vulkanen Javas teilen, ist die verhältnismäßig geringe Menge von Lavaströmen, die sie ergossen haben.

Bei weitem nicht die ganze Längenerstreckung der südamerikanischen Anden ist mit Vulkanen besetzt; letztere gruppieren sich vielmehr mit Ausnahme eines isolierten Vorkommnisses in die drei großen Gruppen von Ecuador, Peru-Bolivia und von Chile, die durch weite vulkanfreie Strecken voneinander getrennt sind. Neben den deutlichen Vulkanen, die teils noch thätig, teils durch ihre Krater charakterisiert sind, treten hier in riesiger Entwickelung jene glockenförmigen Trachytdome ohne Spur von Kratern, von losen Auswürflingen oder von Lavaströmen auf, deren typischer Repräsentant der gewaltige, 6310 m hohe Chimborazo ist. Von Humboldt als Erhebungsdome gedeutet, ist deren Bildung noch heute nicht ganz klar; ob sie als Massenergüsse im Sinne von Seebachs aufzufassen seien, oder ob sie normale Vulkane darstellen, welche durch Erosion die leichter zerstörbaren Teile verloren haben, ist noch unsicher.

Die nördlichste Gruppe ist die von Ecuador zwischen dem 5.° nördlicher und dem 2.° südlicher Breite. Das Gebirge bildet hier zwei parallele Ketten, zwischen welchen das Hochthal von Quito eingeschlossen liegt; auf beiden Bergreihen stehen die Vulkane, nur einer von ihnen liegt noch östlich von der inneren Kette schon im Gebiet des Amazonenstroms, nämlich der schon oben genannte, 5220 m hohe Sangai, der, obwohl 28 Meilen vom Meer entfernt, sich seit mehr als anderthalb Jahrhunderten fortwährend in aufgeregter Thätigkeit befindet. Humboldt berichtet über ihn im „Kosmos": „Der thätigste von allen Feuerbergen Südamerikas, ja von allen, die ich hier einzeln angeführt habe, ist der Sangai; der kolossale Berg hat sich am östlichen Abhang der östlichen Kordilleren erhoben, zwischen zwei Systemen von Zuflüssen des Amazonenstroms, denen des Pastaza und des Upano. Das große, unvergleichliche Feuerphänomen, das er darbietet, scheint erst im Jahre 1728 begonnen zu haben. Bei der astronomischen Gradmessung von Bouguer und La Condamine (1738—1740) diente der Sangai als ein perpetuierliches Feuersignal. Ich selbst hörte monatelang im Jahre 1802, besonders am frühen Morgen, seinen Donner in Chillo nahe bei Quito, wie ein halbes Jahrhundert früher Don Jorge Juan

die Ronquidos del Sangai etwas weiter nördlich bei Pintac, am Fuß des Antisana, vernommen hatte. In den Jahren 1842 und 1843, wo die Eruptionen mit dem meisten Getöse verbunden waren, hörte man dasselbe deutlichst nicht nur im Hafen von Guayaquil, sondern auch weiter südlich längs der Südseeküste bis Payta und San Buenaventura, in einem Abstand wie Berlin von Basel, wie die Pyrenäen von Fontainebleau oder wie London von Aberdeen. Leider ist der Sangai wegen seiner einsamen, von allen Kommunikationswegen entfernten Lage lange Zeit völlig vernachlässigt worden. Erst im Dezember 1849 hat ihn ein kühner und kenntnisreicher Reisender, Sebastian Wisse, nach fünfjährigem Aufenthalt in der Andenkette bestiegen und ist fast bis zur äußersten Spitze des mit Schnee bedeckten steilen Kegels gelangt. Er hat sowohl die so wunderbare Frequenz der Ausbrüche genau chronometrisch bestimmt, als auch die Beschaffenheit des auf einen so engen Raum zusammengedrängten, den Gneis durchbrechenden Trachytes untersucht. Es wurden 267 Eruptionen in einer Stunde gezählt, also jede etwa 13½ Sekunde dauernd und, was sehr auffallend ist, von keiner bemerkbaren Erschütterung begleitet. Das Ausgeworfene, in vielen Rauch von bald grauer, bald orangegelber Farbe gehüllt, ist der größeren Masse nach ein Gemenge von schwarzer Asche und Rapilli; aber teilweise sind es auch Schlacken, die senkrecht aufsteigen, in kugeliger Form und von einem Durchmesser von 15—16 Zoll. In einem der stärkeren Ausbrüche zählte Wisse als gleichzeitig ausgeworfen 50—60 glühende Steine. Sie fallen meist wieder in den Krater zurück, bisweilen bedecken sie dessen oberen Rand oder gleiten, bei Nacht hell leuchtend, an einem Teil des Kegels herab. Die Steine steigen einzeln nacheinander auf, so daß die einen im Herabfallen begriffen sind, während andere erst den Krater verlassen. Durch genaue Zeitbestimmung wurde der Fallraum bis zum Kraterrand im Mittel nur zu 737 Fuß bestimmt." Seither hat die Thätigkeit des Sangai bedeutend nachgelassen, die einzelnen Explosionen erfolgen in Zwischenräumen von mehreren Stunden.

Von den übrigen Vulkanen in Ecuador ist der Tolima, der in den Jahren 1595 und 1826 thätig war, wegen seiner großen, 40 Meilen betragenden Entfernung vom Meer hervorzuheben; ganz in der Nähe von Quito erhebt sich der seltsame Pinchincha, der die bei Vulkanen sehr seltene Gestalt eines gestreckten Rückens mit vier Gipfeln hat. Durch bedeutende Höhe ragen hervor der Antisana mit 5833 m und der durch seine prachtvolle reine Kegelgestalt ausgezeichnete Cotopaxi mit 5943 m. Der erste historische Ausbruch des Cotopaxi fand 1543 (während der Eroberung des Landes durch die Spanier) statt, dann trat zweihundertjährige Ruhe ein; 1742 begann eine neue Periode heftiger Thätigkeit, die 1768 mit einer Katastrophe der furchtbarsten Art schloß. In unserem Jahrhundert hatte er nur einige wenig bedeutende Ausbrüche, bis 1877 ein solcher mit verderblicher Gewalt auftrat.

Die großen Eruptionen des Cotopaxi zeigen alle dieselben Merkmale: Erdbeben sind selten, unterirdisches Getöse ist mehr in der Entfernung als in nächster Nähe des Berges zu vernehmen; starker Auswurf von Asche, Lapilli und Blöcken sowie alles zerstörende Fluten von Wasser, Eis, Schlamm und Gesteinsblöcken sind die auffallendsten Erscheinungen, während keine Lavaströme in die von Menschen bewohnten oder besuchten Gegenden herabgelangen. Man hatte daraus geschlossen, daß solche überhaupt fehlen; die Schlammströme sollten entweder in der Weise entstehen, daß Wasser vom Krater ausgeworfen wird, oder daß die Schnee- und Eismassen des Kegels durch die vulkanische Wärme plötzlich geschmolzen werden. Erst als es Reiß 1872 gelang, den Berg zu ersteigen, konnte er eine richtigere Deutung geben, die dann von seinen Nachfolgern Stübel und Wolf bestätigt wurde. Namentlich die Beobachtungen des letzteren sind von großem Interesse, da sein Besuch kurze Zeit nach der Katastrophe von 1877 erfolgte. Es ergab sich, daß der Cotopaxi Laven in ansehnlicher Menge auswirft, und daß die glühenden Gesteine auf ihrem Wege nach abwärts bedeutende Massen der sehr dicken Schnee- und Eisdecke

schmelzen, woraus jene verheerenden Schlammströme entstehen. Der Verlauf der Eruption von 1877, welche Wolf trefflich geschildert hat, war folgender: Seit Anfang des Jahres rauchte der Berg, am 21. April fand ein starker Aschenregen, auch ein kleiner Lavaerguß statt; schwächere Erscheinungen derselben Art traten in den beiden folgenden Monaten auf und wiederholten sich am 25. Juni in heftigerer Weise. Der 26. Juni brach ruhig und heiter an, aber um 7 Uhr morgens schoß plötzlich eine himmelhohe Pinienwolke aus dem Gipfel hervor und verbreitete in weitem Umkreise Finsternis. Um 9 Uhr begannen heftige Detonationen, die man im fernen Guayaquil und anderen entlegenen Orten vernahm, während sie in der Nähe des Vulkans nicht gehört wurden. Um 10 Uhr vormittags sprudelte der Krater des Cotopaxi von glutflüssiger Lava über; zufällig war gerade um diese Zeit der Gipfel des Berges gegen Südwesten frei, so daß in Mulalo und Cusiguango viele Personen Augenzeugen der Lavaeruption waren. Lebhaft schilderten sie den furchtbaren Anblick des Berges, als er plötzlich in Aufwallung geriet und sich eine schwarze Masse rauchend und dampfend über alle Teile des Kraterrandes zugleich herausdrängte. Manche brauchten bei ihrer Schilderung das Bild eines am Feuer plötzlich überwallenden Reistopfes. Nur wenige Augenblicke konnte man den Berg auf diese Weise beobachten, denn alsbald hüllte er sich in den von der Lava erzeugten Dampf. Man hörte nun das schauerliche, allmählich sich verstärkende und näher rückende Getöse, welches die entstehenden Wasser- und Schlammfluten verursachten.

Es gehört zu den Eigentümlichkeiten des Ausbruchs, daß sich die Lava nicht in einem oder in einigen Strömen, sondern gleichmäßig nach allen Richtungen aus dem Krater ergoß, über dessen niedrigsten Rand wie über dessen höchste Spitze hinweg, und daher waren die Überschwemmungen als Folgen des Lavaergusses rings um den Berg ganz allgemein. Nach der Form des Kraters hätte sich die Lava bei ruhigem Austritt namentlich nach Osten und Westen wenden müssen, wie es auch bei den letzten historischen Eruptionen der Fall war. Aber diesmal hielt sie sich an keine Regel, kannte sie scheinbar keine Terrainschwierigkeiten. Das Austreiben der Lava geschah plötzlich unter furchtbarer Wallung, denn nur so ist es erklärlich, daß in einer Viertel- bis höchstens einer halben Stunde eine so fabelhafte Menge austrat, und länger kann die Erscheinung nicht gedauert haben, da die von ihr durch Schmelzen des Schnees hervorgerufenen Wasserfluten selbst in den Thälern kaum eine Stunde währten. Die Lava sammelte sich in den großen an dem Berge hinabziehenden Schluchten und furchte daselbst tiefe und breite Gassen im Eise aus. Die Wassermassen nahmen feste Bestandteile, Fels- und Eisblöcke, frische Lavaklumpen, Bimsstein, Sand, Asche ꝛc., auf und vermehrten dadurch ihr Volumen und ihre Kraft mindestens um das Doppelte. Die Schlucht von Manzanahuaico hat eine Breite von etwa 100 und eine Tiefe von etwa 60 m, und dennoch konnte sie den Schlamm- und Steinstrom nicht fassen; mächtige Massen quollen über die Ränder und füllten seitwärts tiefe Schluchten aus, und doch blieb noch genug, um die ganze Sandfläche gegen die Ebene von Plauches hinunter in einer Ausdehnung von 50—60 qkm zu überfluten und Hügel von 6—10 m Höhe anzuschwemmen. Manzanahuaico ist nun aber nur eine von den acht oder neun großen Schluchten (Quebradas), welche auf diese Weise zur allgemeinen Schlammflut in der Ebene von Lacatunga beigetragen haben. Von Callo bis Lacatunga bot die Ebene den Anblick eines großen Schlammsees in wildester Aufregung, und die Fluten drangen vor wie hohe Mauern, die sich fortwährend nach vorn überschlugen. Sie legten nach dem Eintritt in die Ebene etwa 10 m in der Sekunde zurück, in den oberen Regionen war die Geschwindigkeit weit größer; drei Stunden nach seinem Eintreffen in Mulalo zerstörte der Strom bereis die etwa 110 km entfernte Brücke über den Rio Pastassa am Fuße des Tunguragua. Im Distrikt von Lacatunga allein schätzt man die Zahl der Toten auf mehr als 300, die Fremden nicht gerechnet. Den Schluß des Paroxysmus bildete wieder ein

heftiger Aschenregen, welcher wie die ganze Umgebung, so auch den Kegel des Berges überdeckte, so daß er von unten ganz schwarz erschien und keine Spur von Schnee zu sehen war.

Der zweite vulkanische Abschnitt der südamerikanischen Anden, der in Peru und Bolivia gelegen ist, wird durch einen weiten Zwischenraum von den Feuerbergen von Ecuador getrennt. Der südlichste unter diesen, der Sangai, liegt unter 2° südlicher Breite, die peruanische Reihe beginnt im Norden bei 16°; es ist daher zwischen beiden ein vulkanfreier Raum von mehr als 200 geogr. Meilen Durchmesser, weit größer als die Länge der Vulkanreihe von Ecuador oder von Peru, welche sich beide ungefähr über je 120 Meilen erstrecken.

Die peruanische Reihe beginnt mit 16° südlicher Breite und reicht bis zu 24° 17′ nach Süden; auf diesem Raume trägt sie 19 gewaltige Vulkanberge, welche gleich jenen von Ecuador dem Gebirge aufgesetzt, nicht vorgelagert sind und sich im Durchschnitt mindestens ebenso weit wie jene vom Meere entfernen; die Feuerberge, welche den Ostrand des Titicacasees und der Wüste Atacama einsäumen, liegen etwa 40 Meilen vom Meere ab. Wohl der bekannteste Berg dieser ganzen Region ist der Sahama oder Gualatieri, der uns eins der auffallendsten Beispiele dafür gibt, daß die bedeutende Erhebung eines Vulkans über dem Meeresspiegel noch gar keinen Anhaltspunkt dafür liefert, daß er auch eine gewaltige Aufhäufung eruptiver Materialien darbiete. Wohl erreicht der Sahama die riesenhafte Höhe von 6888 m, er übertrifft also selbst den Chimborazo; allein sein regelmäßig abgestumpfter Kegel ist auf einem aus Sedimentablagerungen bestehenden Hochlande aufgesetzt, das sich zu fast 5400 m erhebt, und der eigentliche Vulkan Sahama überragt dieses nur um 1450 m, so daß er in Wirklichkeit den Vesuv (1297 m im Jahre 1868) nur um einen geringen Betrag übertrifft.

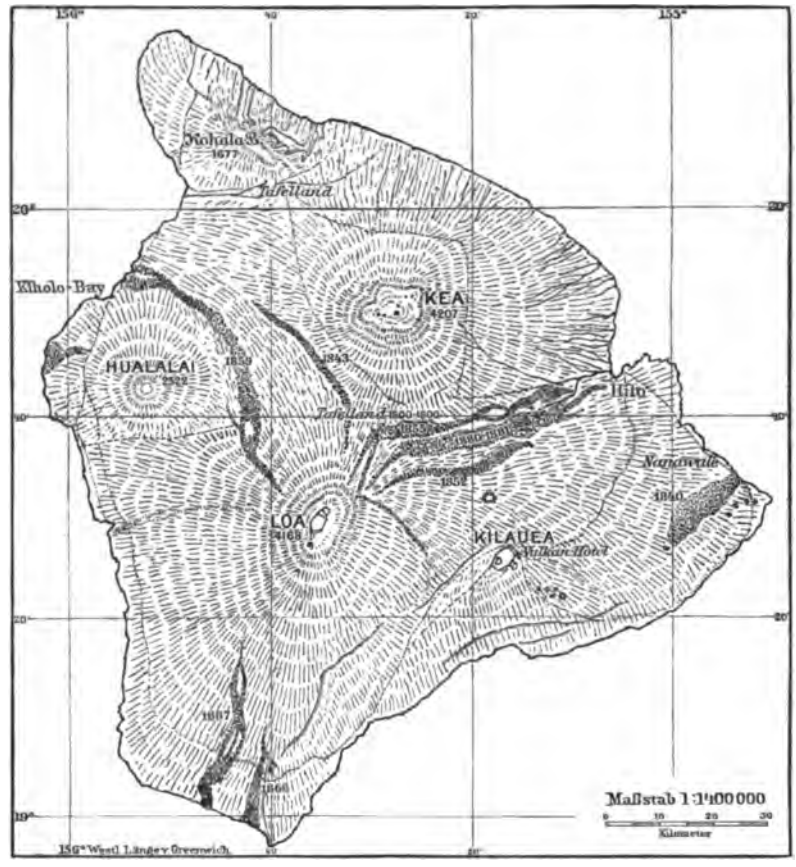
Südlich von der peruanisch-bolivianischen Reihe fehlt es wieder vom 24. bis zum 30. Breitengrad ganz an eruptiven Vorkommnissen; dann folgt die chilenische Vulkanzone, die bedeutendste in Südamerika, welche zwischen 30° 5′ und 43° 50′ südlicher Breite über 30 Eruptionskegel trägt; die nördlicheren unter ihnen sind weit vom Meere entfernt, nach Süden aber treten sie mehr und mehr an die Küste heran. Hier bildet der Aconcagua, der bis zu 6970 m emporragt, den höchsten Vulkanberg der Erde; lange schon galt er als solcher, allein spätere Reisende behaupteten, daß er aus geschichteten Gesteinen zusammengesetzt sei. Erst in neuester Zeit hat Güßfeldt, der bis zu 6410 m an dem Berge emporstieg, gezeigt, daß er wirklich aus Eruptivgesteinen besteht; ob aber ein Krater vorhanden ist, bleibt noch ungewiß.

Nahe der chilenischen Küste, zwischen Valparaiso und der Insel Juan Fernandez befindet sich ein unterseeischer Vulkan, und auch Juan Fernandez, die berühmte Robinson-Insel, ist, wenn auch von Eruptionen nichts bekannt ist, doch aus vulkanischem Material, aus Schlacken und Basalt, aufgebaut.

Bis vor kurzem glaubte man, daß mit dem Ende der chilenischen Reihe die moderne vulkanische Thätigkeit in Südamerika gegen Süden abschließe. Zwar wurde aus Patagonien von mächtigen Schlacken- und Lavafeldern berichtet, aber kein wirklicher Ausbruch war beobachtet worden; nur Hall gibt an, daß er unter 55° südlicher Breite, also im südlichsten Teil des Feuerlandes, einen brennenden Berg gesehen habe. In neuerer Zeit sind nun aber bestimmte Nachrichten von einem Ausbruch gekommen; ein englisches Schiff sah einen solchen beim Passieren des Meierskanals zwischen der Wellington-Insel und dem patagonischen Festland, am Südende von Middle Island der English Narrows. Ein amerikanisches Schiff versetzt die Eruption nach 48° 56′ 30″ südlicher Breite zwischen der Wellington-Insel und dem Festland. Beide Ortsangaben stimmen nahezu überein, und es ist sehr wahrscheinlich, daß es sich um dieselbe Erscheinung handelt; jedenfalls ist dadurch das Vorhandensein eines thätigen Feuerberges im südlichsten Patagonien konstatiert.

Die Vulkane im Stillen Ozean.

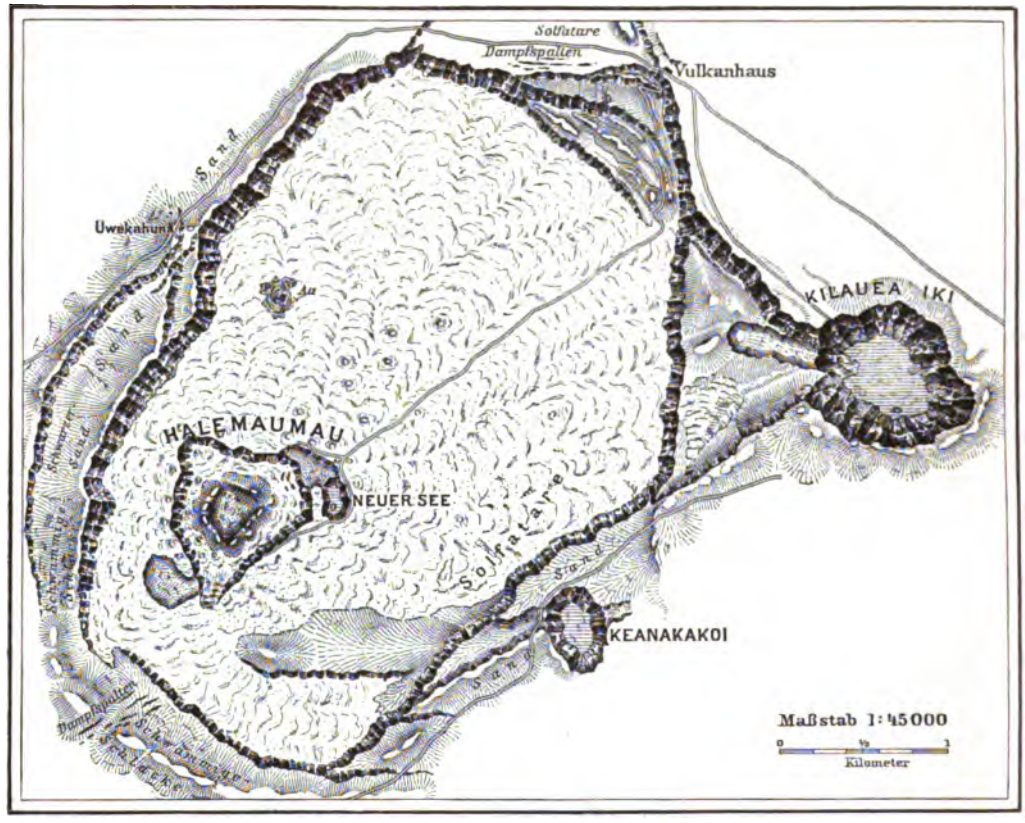
Wir haben nun den kolossalen Kranz von Vulkanen kennen gelernt, der den Stillen Ozean vom Sunda-Archipel bis Südamerika gegen Westen, Norden und Osten umrahmt; gegen Süden ist kein so enger Zusammenschluß vorhanden, aber immerhin erstreckt sich von Neuguinea eine Reihe zerstreuter Vulkane quer durch die Südsee gegen die chilenische Küste. Wir haben schon gesehen, daß westlich von Valparaiso ein submariner Vulkan vorhanden ist, und Juan Fernandez besteht wenigstens aus vulkanischen Gesteinen. Weiter im Westen folgen einige kleine, ganz isolierte Inseln im Großen Ozean; die erste ist Waihu, die Osterinsel. Die Insel besteht aus vulkanischen Gesteinen und hat Krater. Weiterhin folgt dann der einsame Fels von Salas y Gomez, ein nackter, verbrannter Lavaklotz, der durch Chamissos wunderbares Gedicht bekannt geworden ist. Die niedrigen Inseln, die sich gegen Westen am nächsten anschließen, sind reine Korallenriffe, und erst weiter westlich treffen wir auf entschiedene Vulkane; Hiwahoa auf den Markesas, Tahiti und Bola-Bola unter den Gesellschaftsinseln, mehrere unter den Samoa-, Fidschi- und Freundschaftsinseln, den Neuen Hebriden, den Salomonsinseln und Neubritannien tragen Vulkane und schließen sich als die südlich gelegene Sehne des riesigen Bogens an Neuguinea mit seinen fünf Vulkanen an.



Plan der Insel Hawai. (Nach James D. Dana.) Vgl. Text, S. 258.

Im Inneren dieses gewaltigen Raumes, der den größten Teil des Stillen Ozeans umfaßt, gibt es nur wenige Feuerberge; die Marianen springen auf einer von Japan nach Süden reichenden Spalte etwas vor. Nicht weit von der amerikanischen Küste liegen gerade unter dem Äquator die Galapagos oder Schildkröteninseln, welche ganz vulkanisch und mit zahllosen kleinen Kegeln und Kratern bedeckt sind (nach Darwin sind mehr als 2000 Eruptionspunkte vorhanden);

doch sind nur zwei von den Inselvulkanen noch thätig. Fast genau im Zentrum des riesigen, von Feuerbergen umschlossenen pazifischen Beckens aber steht die Gruppe der Sandwichinseln, welche neben einigen anderen vor allen die berühmten und großartigen Feuerberge von Hawai in sich schließt. Eine Reihe seltener Verhältnisse, die flache Schildform der Vulkane, die schachtartigen, riesigen Krater mit ihren glühenden Lavaseen, die überaus ruhige, ohne wesentliche Erschütterungen und Explosionen einhergehende Thätigkeit und damit im Zusammenhang der fast völlige Mangel von Tuffen und anderen Zerstäubungsprodukten, endlich die Dünnflüssigkeit der



Plan des Kilauea-Kraters im Jahre 1886. (Nach James D. Dana.) Vgl. Text, S. 259.

Laven mit ihren Kaskaden und Fontänen erheben die basaltischen Feuerberge von Hawai mit zu den lehrreichsten Erscheinungen dieser Art und bedingen so wichtige Abweichungen von dem gewöhnlichen Vesuvtypus, daß wir etwas länger dabei verweilen müssen.

Die Sandwichinseln zeigen nach Dana eine doppelte Reihe von 15 Vulkanen erster Klasse, die Kea-Reihe im Norden und die Loa-Reihe im Süden, welche aus einer Meerestiefe von 5500—3700 m zu der gewaltigen Höhe von mehr als 4000 m ansteigen. Aus fünf Vulkanen, dem erloschenen und stark denudierten Kohala (1068 m), dem ebenfalls erloschenen Kea (4208 m), dem seit 1801 ruhenden Hualalai (2522 m), dem Loa (4168 m) und dem nur 1230 m hohen Kilauea bestehend, bildet Hawai eine ungefähr dreiseitige Insel von 93 englischen Meilen größter Länge (s. Abbildung, S. 257). Schon ihre äußere Gestaltung ist ungewöhnlich. Eine topographische Gliederung fehlt fast gänzlich, da Flüsse nur auf der den Passaten ausgesetzten Nordostseite vorkommen und die Vulkankegel so überaus sanft ansteigen, daß sie fast untrennbar mit einander verschmelzen. Am auffallendsten tritt dies bei dem bestbeobachteten und interessantesten

Krater, dem Kilauea (s. Abbildung, S. 258), hervor, der auf der Ostseite des Loa, von diesem 34 km entfernt gelegen ist, aber einem selbständigen, in seinen vulkanischen Äußerungen vom Loa gänzlich unabhängigen Vulkanschlot angehört.

Am Gipfelplateau des Kilauea öffnet sich ein schachtartiger, ungefähr elliptischer Krater von 14,000 englischen Fuß größtem Durchmesser. Die Kraterwand stürzt 200 m hoch fast senkrecht ab und umschließt einen ebenen oder vielmehr flach kuppelförmigen Kraterboden aus schwarzer, erstarrter Lava, in welcher gewöhnlich einzelne Partien in geschmolzenem Zustande verbleiben und so die berühmten Lavaseen bilden. An vielen Stellen steigt ununterbrochen Dampf auf. Die

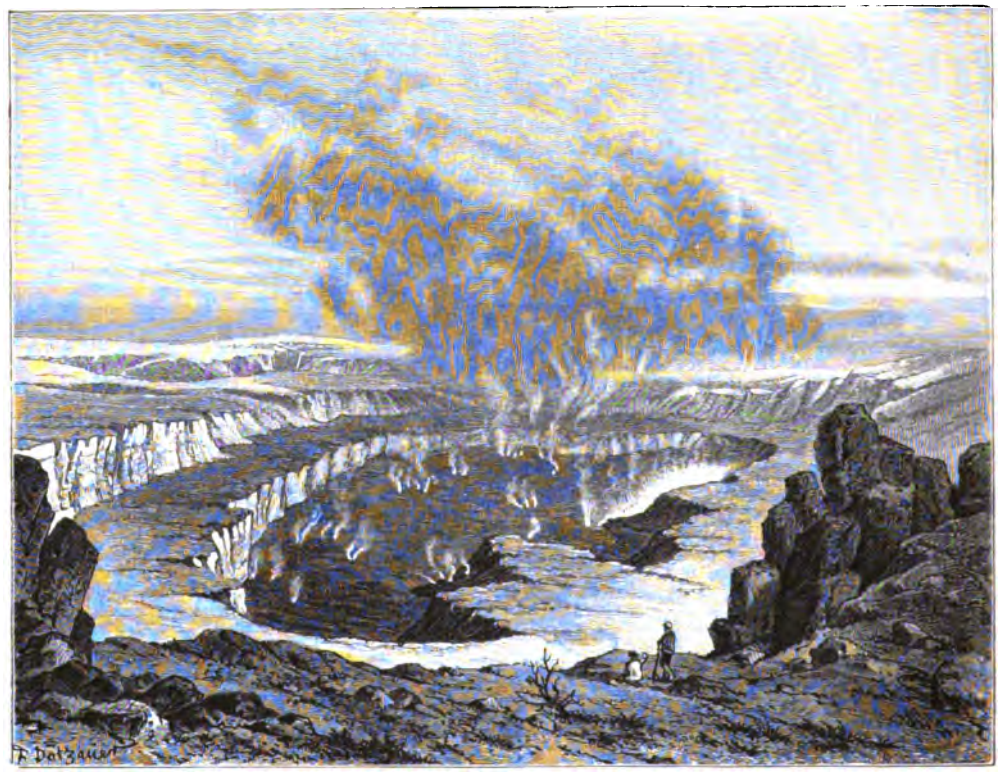
Der Krater des Kilauea im Jahre 1823. (Nach C. E. Dutton.) Vgl. Text, S. 260.

Kraterwände enthalten weder Tuff noch Asche, sie bestehen lediglich aus dünnen, horizontalen Strömen und Decken von Basalt und haben daher das Aussehen eines geschichteten Gesteins.

Während die Thätigkeit anderer Feuerberge hauptsächlich nach außen gerichtet und auch nur diese unserer Beobachtung zugänglich ist, können wir hier in die innere Werkstätte eines Vulkans Einblick gewinnen. Die mächtigen vulkanischen Kräfte arbeiten hier mit solcher Regelmäßigkeit und Ruhe („still, wie der Mond sich erhebt", wie sich ein Autor mit starker Übertreibung ausdrückt), daß man alle Teile des Kraterbodens ohne Gefahr betreten, ja sogar am Rande eines kochenden Lavasees sein Nachtlager aufschlagen kann. Da nur selten Erdbeben auftreten, werden die Einwohner zumeist erst durch den mächtigen Feuerschein auf die sich vollziehende Eruption aufmerksam.

Durch sorgfältige Verfolgung der historischen Ausbrüche des Kilauea seit 1789 konnte J. Dana feststellen, daß die Thätigkeit eine gewissermaßen rhythmische ist. Wenn sich der Vulkan zu einer größeren Eruption anschickt, hebt sich allmählich die Lava im Kraterschacht, der Krater füllt sich langsam an, bis endlich der alte Kraterboden von unten gehoben, teilweise eingeschmolzen

und überflutet wird. Um diese Zeit ist der Anblick des Kratersees namentlich zur Nachtzeit ein magischer. Das Glutmeer quillt und wallt, an vielen Stellen entbinden sich Dämpfe und reißen glühende Lava, bald in Kegelform, bald als feurige Fontänen und Garben 10—20 Fuß hoch mit sich. Rote und gelbliche Flammen wogen und züngeln aus dem wirbelnden Lavasee auf gegen den dunklen Nachthimmel, die über der Feuerflut schwebende Dampfwolke erscheint tief durchglüht, und die schwarzen Kraterwände leuchten ringsum in grellem Widerschein (vgl. Abbildung, S. 259).



Der Krater des Kilauea im Jahre 1840. (Nach J. D. Dana.)

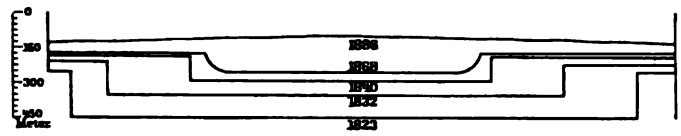
Nach einiger Zeit tritt als zweite Phase eine untermeerische oder eine unterirdische Entleerung der Lava in innere Hohlräume des Vulkankegels ein, die Lava sinkt gleichzeitig im Kraterschacht, und den Schluß der Ausbruchsperiode bildet der teilweise Einsturz des Kraterbodens und die Anlage eines tieferen, bald mehr, bald minder ausgedehnten Kraterbodens und Lavasees. Von diesem Zustand des Kraters gibt eine nach der großen Eruption des Jahres 1840 von Drayton aufgenommene und hier obenstehend wiedergegebene Skizze eine gute Vorstellung. Der obere, „black ledge“ genannte Kraterboden war um 198 m tiefer als der Kraterrand, und von da waren noch 117 m zum tieferen Boden. Noch größer war die Tiefe des letzteren nach den Eruptionen des Jahres 1823 und 1832. Der „black ledge“ bildete damals nur eine schmale Randleiste.

In dem Zeitraum von 1823—86 wurden acht größere Eruptionen beobachtet, von welchen die bedeutenderen in den Jahren 1823, 1832, 1840 und 1868 mit einem Einsturz des Kraterbodens verbunden waren, während die anderen in den Jahren 1849, 1855, 1879 und 1886 sich auf lebhaftere Kraterthätigkeit beschränkten. Die Zeiträume zwischen je zwei Hauptentleerungen schwanken zwischen 6 und 13 Jahren. Die Thatsache, daß von den acht bekannten

Entleerungen sieben in die Regenzeit fallen, läßt einen Schluß auf den Einfluß zu, welchen das unter hohem Druck infiltrierte Wasser auf die vulkanische Thätigkeit ausübt. Der Betrag der Einstürze hat sich seit 1823 beständig vermindert, was aus der nachstehenden, nach J. Dana wiedergegebenen Tabelle und dem untenstehenden Diagramm gut ersichtlich ist.

Nach den Eruptionen der Jahre	Tiefe des unteren Kraterschachtes	Höhe des westlichen Kraterrandes über dem „black ledge“	Höhe des westlichen Kraterrandes über dem Zentrum des Kraters
1823	182 (244?)	274 (?)	457 (518?)
1832	137 (182?)	218	355 (401?)
1840	117	198	314
1868	91	182 (152?)	274 (259?)
1886	0	152	116

Oberirdische Entleerungen des Kilauea sind aus dem Jahre 1840 bekannt. Ohne Dazwischentritt eines Erdbebens bahnte sich die Lava in diesem Jahre auf der Ostseite des Berges einen Weg nach außen: sie trat zuerst unweit des Gipfels, später weiter abwärts aus, bis zuletzt eine große Lavamasse 43,5 m vom Krater entfernt in der Meereshöhe von 379 m zum Ausbruch kam, welche sich bei Nanawale unter lauten Detonationen ins Meer ergoß. Die glühende Lava wurde im Wasser in Millionen kleiner Teilchen aufgelöst, und diese wurden mit dem Dampf in solchen Mengen ausgeschleudert, daß sich der Himmel verfinsterte. An der Küste bildeten sich, wahrscheinlich über offenen Spalten, drei Tuffkegel von 45—76 m Höhe.



Querschnitte des Kilauea-Kraters. (Nach J. D. Dana.)

Der Ausbruch des Jahres 1868 fiel zeitlich mit einer Eruption des Loa zusammen und war ausnahmsweise von Erdbeben begleitet. Am 2. April ereignete sich ein besonders heftiger Stoß, und gleichzeitig entstanden am Südende des Kilauea-Kraters Risse, welche in südwestlicher Richtung den Spalten des Jahres 1823 ungefähr gleichliefen. An einem derselben wurde auch etwas, wahrscheinlich vom Kilauea herrührende Lava gefördert. In der Nacht des 2. April verschwand die flüssige Lava aus allen Auswurfskegeln und beschränkte sich auf die Lavaseen. 24 Stunden später waren auch die letzteren mit Ausnahme des großen Sees entleert, und am 5. April verlor selbst dieser die Lavafüllung, alles war ruhig und schwarz. Endlich vollzog sich etwas später der Einsturz der Kratermitte, „gerade so, wie eine Eisdecke nachgibt, wenn das Wasser darunter ausfließt“.

In der folgenden, bis in die Gegenwart reichenden Periode begann von neuem die Füllung des Kraterschachtes (s. Abbildung, S. 262) bis auf den Halemaumau und den 1881 entstandenen Neuen See. Der letztere war seit 1882 durch das Vorhandensein einer schwimmenden Lavainsel ausgezeichnet. Der im Halemaumau aufgebaute Auswurfskegel wurde seit 1886 durch den Auftrieb der Lava immer mehr gehoben, bis er im Mai 1889 nach einer größeren, mit Übergüssen im Krater verbundenen Eruption wieder auf den Stand von 1887 zurückfiel. Das Sinken beim Rückzug der Lava beschränkt sich indessen nicht nur auf den Kraterboden, sondern auch in der Umwallung des Kraters sind peripherische Brüche und Absenkungen, und zwar besonders auf der Nordostseite, vorhanden. Auch die beiden großen Einsturzkessel Kilauea Iki und Keanakakoi auf der Ostseite des Kraters gehören in diese Gruppe von Erscheinungen (s. Abbildung, S. 258).

Ähnliche Verhältnisse wie die beschriebenen herrschen auch an dem flach schildförmigen Riesenvulkan Loa (s. Abbildung, S. 153). Der elliptische Krater desselben mißt 13 km in der Länge, 10 km in der Breite. Er ist ebenfalls schachtförmig gestaltet, mit senkrecht abstürzenden, aus Lavadecken aufgebauten Wänden. Auch bei dem Vulkan Loa bewegt sich die Kraterthätigkeit in demselben Cyklus von Aufsteigen, Entleerung und Einsturz wie beim Kilauea. Dagegen finden viel lebhaftere Auswürfe statt. Lavagarben und -Fontänen schießen aus dem Krater zur Zeit der Eruption bis zu 180, ja selbst 280 m Höhe auf, und Schlacken werden reichlicher geschleudert als beim Kilauea. Die Entleerung findet oberirdisch in Flankenergüssen statt, welche

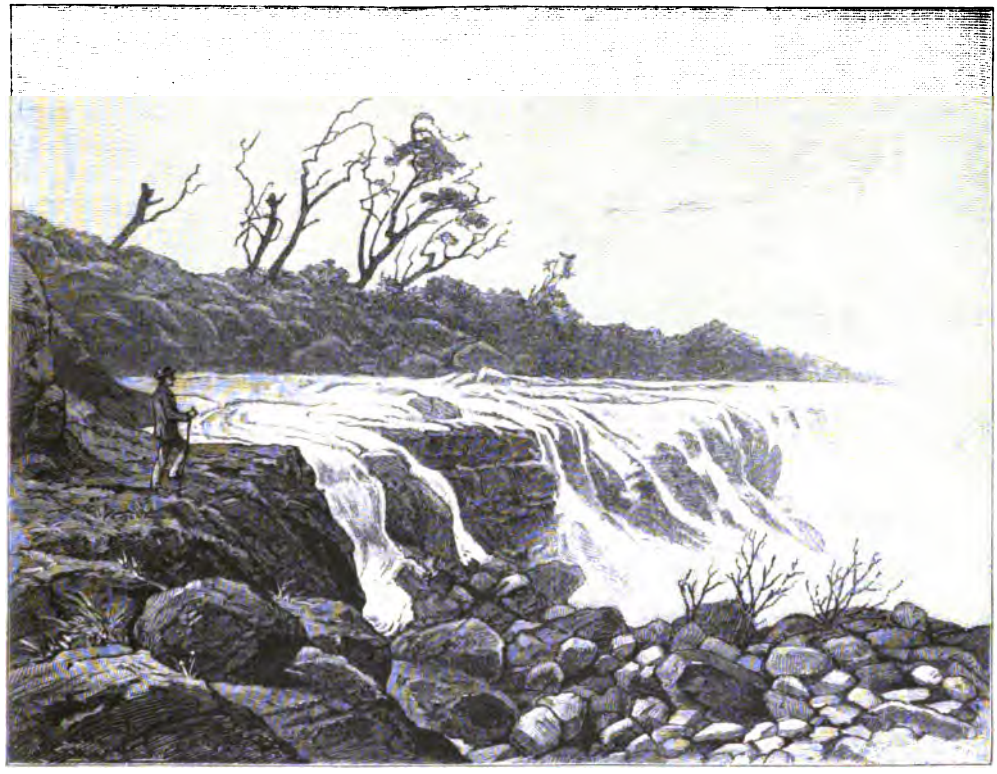
Der Krater des Kilauea in der Gegenwart. (Nach C. E. Dutton.) Vgl. Text, S. 261.

in verschiedenen Höhen unter dem Krater austreten und sowohl durch die Massenhaftigkeit der Förderungen, als auch durch die Bildung gewaltiger, bis zu 30 m und höher ansteigender Lavafontänen seit jeher Bewunderung erregt haben. An den Austrittspunkten der Seitenströme bilden sich häufig parasitische Schlackenkegel von beträchtlichem Umfang. Um die Bedeutung der Massenausbrüche des Loa richtig zu würdigen, muß man sich vergegenwärtigen, in wie kurzen Intervallen sie aufeinanderfolgen. Nachdem der Vulkan im Jahre 1852 einen 32 km langen Strom gefördert hatte, dessen Masse von J. Dana auf $10^1/_2$ Milliarden Kubikfuß geschätzt wurde, ließ er zwei Jahre später einen 42 km langen Strom austreten, welcher fast den Rauminhalt des Vesuvs erreicht, und wiederum 4 Jahre später, im Jahre 1859, entstand ein 53 km langer Lavastrom. Ein mäßiger Erguß des Loa liefert ebensoviel oder selbst noch mehr Material, als der Vesuv seit den Tagen von Pompeji ausgestoßen hat.

Die größten und zahlreichsten Ströme sind nahe an der gegen Ostnordosten streichenden Längsachse des Loa ausgetreten, von einigen anderen fallen die Ergußpunkte in die Querachse. Man kann mit Dana vermuten, daß dies kein zufälliges Zusammentreffen ist, sondern daß diese Richtungen den ursprünglichen Bruchlinien entsprechen, auf deren Kreuzungspunkt sich der Loa

aufgebaut hat. Auch bei diesem Vulkan fällt die überwiegende Mehrzahl der Ausbrüche in die Regenzeit, wo der Gipfel vermöge seiner bedeutenden Höhenlage mit Schnee bedeckt ist.

Sowohl am Kilauea wie am Loa zeichnen sich die Laven durch ihre extreme Leichtflüssigkeit aus. Sie fließen wie Wasser; selbst über Flächen, deren Neigungswinkel nicht mehr beträgt als 1°, vermögen sie sich noch fortzubewegen. An Gefällsbrüchen bilden sie förmliche Lavakaskaden, wie untenstehend eine solche aus dem Loa-Strom des Jahres 1881 wiedergegeben ist. Nicht selten legen diese Laven 20—30 km in der Stunde zurück, und sie kommen mitunter 15 km weit, ohne



Lavakaskade des Loa-Stromes von 1881. (Nach J. D. Dana.)

daß die Erstarrung große Fortschritte gemacht hätte. Die Oberfläche dieser basaltischen Laven ist bald glatt, und die Anordnung dieselbe, wie wir sie bei der sogenannten Fladenlava des Vesuvs kennen gelernt haben (s. Abbildung, S. 156), bald ist die Oberfläche rauh, die Lavamasse zerfällt in unregelmäßig kubische, bombenähnliche Partien und entspricht der Blocklava anderer Gebiete (s. Abbildung, S. 153). Die Fortbewegung der Blocklava oder Aa, wie der Lokalausdruck auf Hawai lautet, erfolgt unter lautem krachenden oder rollenden Geräusch. Die Aa bildet isolierte Partien in der Fladenlava, der sogenannten Pahoehoe, großer Ströme. Ihre Bildung ist wahrscheinlich auf den Einfluß der raschen Abkühlung zurückzuführen, welche ein Strom da erfährt, wo er sich zufällig über feuchtes Land bewegt. Größere Hohlräume in der Lava sind keine seltene Erscheinung. Die Wände solcher Höhlen sind meist mit zierlichen Stalaktiten ausgekleidet, denen vom Boden aus häufig Stalagmiten entgegenstreben. Sie bestehen nicht aus glasiger Masse, wie man erwarten möchte, sondern sind durch und durch kristallinisch. J. Dana schreibt die kristallinische Beschaffenheit dem Einfluß von Fumarolen und Solfataren zu.

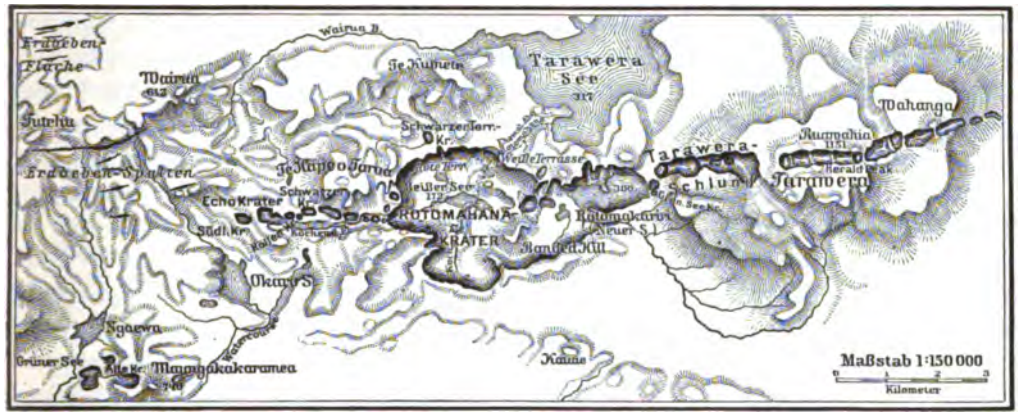
Am Kilauea hat, soviel wir wissen, nur einmal ein Auswurf von losen Aschen stattgefunden, und zwar im Jahre 1789. Damals wurden, wahrscheinlich infolge eines zufällig etwas stärkeren Zutritts von Wasser zum Lavaschlot, zuerst Asche und Sand, dann Steine und Bomben und zuletzt eine schwammige, leichte, bimssteinartige Asche gefördert und rings um den Krater bis zu 9,2 m Höhe angehäuft. Auch die stärkere Auswurfsthätigkeit des Loa ist auf die infolge der höheren Lage etwas größere Infiltration von Wasser zurückzuführen.

Auf dem australischen Festland ist ein erloschenes Vulkangebiet in der Kolonie Victoria bekannt; sehr viel wichtiger sind aber die namentlich von Hochstetter beschriebenen Vorkommnisse auf Neuseeland. Die südliche Insel trägt an ihrer Ostküste einige nicht mehr thätige Feuerberge, besonders aber ist die nördliche Insel reich an Eruptionsstellen. Hochstetter hat hier drei vulkanische Regionen unterschieden, von denen die eine, die sogenannte Taupo-Zone, einer von Südwesten nach Nordosten verlaufenden Spalte entspricht, welche das südöstliche Randgebirge der Insel auf der Binnenseite begleitet; sie beginnt im Südwesten mit dem 3749 m hohen Ruapehu und erreicht im Nordosten das Meer, aus dem sich in der Fortsetzung noch der im Solfatarenzustand befindliche Inselvulkan Whakari oder White Island erhebt. Dieses Gebiet ist sehr bemerkenswert wegen der riesigen Entwickelung von heißen Quellen, Geisern und Schlammvulkanen. Eine zweite Zone nimmt den Isthmus von Auckland ein und ist von zahllosen kleinen Kratern von 100—200 m Höhe bedeckt, nur einer von ihnen ragt zu 298 m empor; jeder von ihnen scheint nur eine Eruption gehabt, aber auch meist einen beträchtlichen Lavastrom geliefert zu haben. Es repräsentiert dieses Gebiet die phlegräischen Felder Neuseelands mit stets wandernden und sich neubildenden Eruptionspunkten. Endlich ist noch der Mount Egmont oder Taranakiberg zu nennen, ein großer erloschener Vulkan von 2522 m Höhe, der ähnlich den Feuerbergen Javas auf der Außenseite seines sehr regelmäßigen Kegels gleichmäßig verteilte, vom Regenwasser eingerissene Barancos trägt, eine Erscheinung, die übrigens auf Neuseeland vielfach auftritt (s. Abbildung, S. 168).

Das Gebiet der Taupo-Zone war im Jahre 1886 der Schauplatz einer verheerenden Eruption, welche eins der herrlichsten Naturwunder Neuseelands, die Sinterterrassen am Rotomahana-See (s. die Beilage bei S. 435), vernichtet hat. In der Mitte der Taupo-Zone erhebt sich an der Ostseite des Tarawera-Sees der dreizinkige, ungefähr 4,8 km lange Felsrücken Tarawera bis zu der Höhe von 1100 m. Der See Rotomahana mit seinen berühmten Sinterterrassen lag 3,8—4,8 km südlich vom Tarawera. Obwohl der Name dieses Berges, auf dessen Spitze die Maori seit vielen Generationen ihre Toten auszusetzen pflegten, „glühender Fels“ bedeutet, war doch den Eingeborenen von einem Ausbruch desselben nichts bekannt. Schon im Jahre 1881 machten sich Erscheinungen geltend, die man nachträglich mit der Eruption des Tarawera in Zusammenhang gebracht hat, so das plötzliche Steigen und Sinken des Rotokakahi-Sees in den Jahren 1881 und 1883, das Austrocknen des Kratersees auf White Island im Jahre des Ausbruches, die Temperatursteigerung und reichlichere Wasserführung gewisser Kochbrunnen, endlich die am 1. Juni 1886 eingetretenen seltsamen Schwellungen und Wogen im Tarawera-See und die besonders lebhafte Thätigkeit der Geysire in der Nähe der roten Terrassen. Die Eruption begann am 10. Juni 1886 nach Mitternacht und dauerte ungefähr 24 Stunden. Die ersten Vorgänge bestanden in furchtbaren Detonationen und einem Feuerschein und wurden im Umkreis von mehr als 200 km bemerkt. In größerer Nähe, an den Ufern des Rotorua-Sees, erzitterte die Erde, der Seespiegel geriet in Schwankungen, und die Luft erfüllte sich mit Staub. Um 2 Uhr 10 Minuten öffnete sich die nördliche Spitze des Tarawera-Berges, wenige Minuten später begann der mittlere Gipfel zu arbeiten, und nach einem kurzen Zeitraum erreichte der Paroxysmus durch den Ausbruch des Südgipfels des Berges seinen Höhepunkt. Der ganze Himmel flammte in

zahllosen Blitzen, und es ging ein so dichter Hagel von glühenden Schlacken und Steinen auf die glücklicherweise schwach bevölkerte Umgebung nieder, daß die Gegend um den Tarawerasee 10 m hoch mit Asche überschüttet wurde.

Nach diesen heftigsten Erscheinungen, welche wahrscheinlich mit der Bildung einer Spalte im Tarawera-Berg einhergingen, trat eine Pause ein. Um 4 Uhr morgens begann der Aschenwurf von neuem, ein Erdstoß, begleitet von krachendem Getöse, wurde verspürt, und diesem folgte der Ausbruch einer ungeheuern Dampfmasse und riesiger Aschensäulen in der Gegend des Rotomahana-Sees. Eine schwere Wolke verbreitete sich über der unglücklichen Gegend und gewährte bei eintretendem Südwestwind reichlichen Niederschlag, die niederfallenden Aschenmassen in Schlammströme verwandelnd. Das wichtigste Ereignis dieses Eruptionsstadiums war aber die Bildung einer 15 km langen Spalte, welche sich vom Nordgipfel des Tarawera über die Gegend des Rotomahana-Sees bis in die Gegend des Okaro-Sees erstreckte, und an welcher sich



Die Tarawera-Spalte von 1886, auf Neuseeland. (Nach A. P. W. Thomas.)

der Austritt jener gewaltigen Dampf- und Aschenmassen vollzog. Die Dampfentwickelung war auch nach der eigentlichen Eruption eine so starke, daß man nur in seltenen Augenblicken in diesen fürchterlichen, von kochenden Schlammpfützen erfüllten Abgrund Einblick nehmen konnte. In einzelnen Teilen glich die Spalte (s. obenstehende Abbildung) einer Reihe verlängerter und untereinander verbundener Kraterschlünde, in anderen schlossen die Ränder des Risses scharf aneinander. Das ausgeblasene Gestein wurde am Rande bis zu 15 m hoch aufgestapelt, kleine, bis zu 30 m hohe Auswurfskegel waren entstanden, welche ebenso wie der Hauptkrater der Spalte Steine und Asche auswarfen. In der Gegend, wo früher die rote Terrasse stand, erhob sich ein mächtiger Geysir, ein anderer schoß nahe dem Südrande der Kluft schräg aus der Wandung derselben hervor, und außerdem wurden noch fünf Stellen gezählt, von welchen aus sich große Massen siedenden Wassers, mit Steinen und Schlamm beladen, 200—250 m hoch erhoben. An Stelle des früheren Rotomahana-Sees entstand nach Erlöschen der Eruption ein neuer Wasserspiegel, 150 m unter dem vormaligen gelegen, und nordöstlich davon bildete sich ein zweiter See, ungefähr am Platze des früheren Rotomakariri-Sees. Neben der großen Spalte war eine Anzahl kleinerer Risse entstanden, und weiterhin waren auf Erdbeben zurückgeführte Rupturen zu bemerken. Auch am Kamme des Tarawera waren die Veränderungen nicht unbeträchtlich. An sieben Stellen fanden Dampfausströmungen statt, die Ausbruchspunkte bezeichnend. Die tiefe Kluft zwischen dem mittleren und dem nördlichen Tarawera-Gipfel war gänzlich ausgefüllt, der mittlere Gipfel war rasch angewachsen und hatte eine Anzahl Seitenkegel erhalten.

Man schätzt die ausgeworfenen Aschenmassen auf ungefähr 1269 Millionen cbm. Diese wurden über eine Fläche von 15,850 qkm verbreitet, das benachbarte Meer nicht mitgerechnet. Infolge des herrschenden Südwestwindes war die Verteilung der Asche einseitig. Lava wurde nicht gefördert, sondern ausschließlich feste Auswurfsmassen, und zwar traten aus der großen Spalte in der Gegend des ehemaligen Rotomahana-Sees hauptsächlich Asche und feiner Sand, während vom Tarawera-Schlunde schwere Schlackenstücke und Asche ausgespieen wurden. Zweifellos wurde ein großer Teil der festen Auswürflinge dem alten rhyolitischen Material des Tarawera entnommen, wie denn auch die wunderbaren Sinterterrassen größtenteils in die Luft gesprengt wurden. Daneben wurden aber auch andesitische Schlacken und Bomben von basaltähnlicher Zusammensetzung erkannt, und damit war die eine Zeitlang offene Frage, ob bei dieser gewaltigen Katastrophe auch neues Magma ausgeworfen wurde oder nur Teile des vorhandenen Baugerüstes des Tarawera, zu gunsten der ersteren Annahme entschieden.

Die auffallendste Erscheinung dieses Ausbruches, die große Spalte in der Rotomahana-Ebene, kann auf verschiedene Weise entstanden gedacht werden. Hutton scheint zu der Annahme zu neigen, daß die Öffnung der Spalte durch Erdbeben verursacht wurde. Es könnte aber auch angenommen werden, daß das Grundwasser der Ebene infolge der Lockerung des Bodens durch die vorangegangene Tarawera-Eruption in größerem Maße in das erhitzte Innere eingetreten ist und plötzliche, übermäßige Dampfbildung die Entstehung des tiefen Risses zur Folge gehabt hat. Wie dem auch sein mag, jedenfalls waren die eruptiven Vorgänge an dieser Spalte wesentlich verschieden von dem Ausbruch der Gebirgskrater am Tarawera. Der letztere war ein normaler vulkanischer Ausbruch von explosiver Art und besonderer Heftigkeit, wie dies bei Eruptionen nach langer Ruhepause die Regel ist. Da keine Lava, sondern nur Zerstäubungsprodukte gefördert wurden, ist anzunehmen, daß das Magma sehr dampfreich war. Dem im Berge enthaltenen Wasser, welches durch die Annäherung der Lava und die Durchwärmung des Berges in Dampf verwandelt wurde, schreibt Hutton eine wesentliche Rolle bei der Eruption zu. Jedenfalls konnte es zur Erhöhung des explosiven Charakters der Eruption mit beitragen.

Die eruptiven Erscheinungen an der großen Rotomahana-Spalte dagegen waren ausschließlich hydrothermischer Natur und hätten sich nicht in der beschriebenen Weise abgespielt, wenn der Untergrund dieses Geysirgebiets nicht gänzlich von Wasser durchtränkt gewesen und überdies die gewaltige Wassermasse des Rotomahana-Sees zur Dampfbildung verwendet worden wäre. In dieser Beziehung ist eine gewisse Verwandtschaft mit der Eruption des Krakatau nicht zu verkennen, wenn auch jene Periodizität der Explosionen, die für die letztere so bezeichnend war, hier nicht bemerkt wurde. Eine Anzahl der mit Wasser gefüllten Kraterschlünde der Rotomahana-Spalte gleichen vollkommen den sogenannten Maaren, und es liefert daher dieser merkwürdige Ausbruch den Nachweis, daß die Bildung der Maare auf rein explosivem Wege, ohne Einsturz, bloß durch Dampfwirkung vor sich gehen kann.

Als weitere Fortsetzung der neuseeländischen Taupo-Zone nach Nordnordosten haben wir die Kermadec-Inseln, und im weiteren Zuge die Tonga- oder Freundschaftsinseln mit ihren teils thätigen, teils erloschenen Vulkanen zu betrachten. Im Gebiet der Tonga-Inseln ist die Aktivität besonders lebhaft. Im Jahre 1847 wurde eine dieser Inseln, Amagura, durch Explosion zerstört. Im Jahre 1885 dagegen trat auf vulkanischem Wege wiederum eine Neubildung ein, es wurde die 3 km lange und 76 m hohe Falcon-Insel aufgeschüttet, welche aber im Jahre 1889 nur noch 1,8 km lang und 51 m hoch war.

Zum Schluß sind noch die Vulkane des Südlichen Eismeeres zu erwähnen, über die wir allerdings nur höchst unvollkommene Nachrichten haben. Eine kleine Gruppe von Inseln unter 64° 44′ südlicher Breite und 163° 11″ östlicher Länge von Greenwich, die Balleny-Inseln, sind vulka-

nisch, ebenso die Alexander-Inseln unter 69° südlicher Breite. Endlich hat Roß bei seiner kühnen Fahrt nach Süden auf Victoria-Land zwei gewaltige Vulkankegel unter 76° südlicher Breite und 168° 12′ östlicher Länge von Greenwich gesehen, den Erebus (3570 m) und Terror (3110 m), von denen der erstere zur Zeit der Entdeckung eben im Ausbruch begriffen war.

Zahl der Vulkane.

Man hat vielfach versucht, die Zahl der Vulkane, welche auf der Erde existieren, zu bestimmen. Solche Arbeiten sind natürlich notwendig und nützlich, aber die Ergebnisse haben doch nur einen sehr relativen Wert; selbst die Ziffer für die thätigen Vulkane ist ganz unbestimmt, da stets neue Feuerberge entstehen oder solche entdeckt werden, die bisher der Beobachtung entgangen waren. Ferner ist es sehr problematisch und willkürlich, wie der Unterschied zwischen erloschenen und thätigen Vulkanen zu formulieren sei, und nicht minder, welche Ausbruchssessen man als selbständig bezeichnen soll, da eine Grenze zwischen einem Seitenausbruch und einem eigenberechtigten Vulkan kaum gezogen werden kann. Unter diesem Vorbehalt mag die nachfolgende, mit geringen Änderungen den Arbeiten von C. Fuchs entnommene Zusammenstellung die thätigen Vulkane aufzählen.

Festland von Europa (Vesuv)		1	Neuseeland		4
Inseln des Mittelländischen Meeres		6	Aleuten		31
Festland von Afrika		17	Kurilen		27
Kontinentale und küstennahe Inseln Afrikas		10	Japan		24
Westindien		5	Zwischen Japan und den Philippinen		8
Arabien		1	Philippinen, Molukken, Sunda-Inseln		49
Zentralasien	(?)	2	Island		9
Submariner Vulkan bei Ponditscherri		1	Jan Mayen		2
Kamtschatka		12	Azoren		6
Alaska (Nordamerika)		4	Kanaren		3
Festland der Vereinigten Staaten		11	Kapverdische Inseln		1
Mexiko		10	Antillen		6
Zentralamerika		26	Submarine Vulkane im Atlantischen Ozean		3
Ecuador		14	Vulkane im Indischen Ozean		5
Peru und Bolivia		6	Vulkane im Stillen Ozean		26
Chile		17	Südliches Eismeer		2
Feuerland		1			
Neuguinea		5	Summe der aktiven Vulkane		355

Einteilung der Vulkane.

Die vorhergehenden Abschnitte haben uns mit der außerordentlichen Mannigfaltigkeit bekannt gemacht, welche die Vulkane nach ihrem Bau, ihrer Zusammensetzung und Thätigkeit bekunden. Wenn wir nun den Versuch machen, behufs besserer Übersicht eine Gruppierung der Gestaltungen vorzunehmen, so stellen sich diesem Unternehmen große Schwierigkeiten entgegen. Vulkane, die sich auf den ersten Blick scheinbar sehr verschiedenartig erweisen, geben sich bei näherer Betrachtung als verwandt zu erkennen, und wenn es auch gelingt, gewisse Gruppen festzuhalten, so sind doch stets nach verschiedenen Richtungen hin Beziehungen vorhanden, und man gelangt bald zu der Überzeugung, daß jeder Versuch einer schablonenhaften Schematisierung auf diesem Gebiet zu irrtümlichen Vorstellungen führen müßte.

Wenden wir uns z. B. zu dem Typus der extremsten Einfachheit, dem Monte Nuovo, einem einfachen Aschen- und Schlackenkegel ohne Lava. An diesen schließen Erscheinungsformen, wie der Astroni, die Solfatara oder der kleine, auf S. 246 abgebildete Krater am Mono-See, bei welchem neben Zerstäubungsprodukten auch Lava gefördert, aber im Krater erstarrt ist. Bei anderen Vulkanen ist die Lava über den Kraterrand abgeflossen, oder sie ist durch eine selbstgeschaffene Bresche ausgetreten, wie bei vielen Puys der Auvergne, oder endlich sie ist am Fuße des Aschenkegels hervorgequollen, wie etwa beim Cinder Cone im nordamerikanischen Westen. Die meisten dieser *einfachen* Kegel haben nur wenig Ausbrüche gehabt, meist nur einen, wie der Monte Nuovo, oder zwei, wie der Cinder Cone.

Etwas verwickelter gestaltet sich der Bau solcher Kegel, wenn infolge wiederholter Eruptionen eine größere Mannigfaltigkeit von Strömen und Gängen dem Vulkankörper einverleibt wird. Eine explosive Eruption räumt den Krater aus, dieser weitet sich durch Nachsturz und erhält einen Zentralkegel. Wir gelangen so zu den komplizierteren Vulkanen nach Art des Vesuvs, und weitere Komplikationen treten ein, wenn die Eruptionen an den Flanken des mächtig angewachsenen Berges erfolgen, Explosionsthäler nach Art des Val del Bove gebildet, Verlegungen der Eruptionsachse an der Hauptspalte vorgenommen und neue Kraterringe geschaffen werden. Vulkane der letzteren Art (man nennt sie auch „*zusammengesetzte*" Vulkane) haben mit den zuerst betrachteten einfachen Vulkanen die wesentliche Beteiligung von *Tuffen* und von losen Auswurfsprodukten am Aufbau der Kegel gemeinsam, und für alle ist ein schicht- oder lagenweiser Wechsel von ausgeflossenen und ausgeworfenen Förderungen kennzeichnend. Wenn Vulkane dieser Art zuweilen nur wenige, in anderen Fällen viele Eruptionen gehabt haben, so ist der Grund hiervon wohl in der Beschaffenheit der Eruptionsspalten zu suchen. In engen Spalten ist der Weg für weitere Nachschübe durch das rasch erkaltete Magma bald versperrt, und daher ist das Magma genötigt, sich bei einer späteren Eruption einen neuen Weg zu bahnen. In der Tiefe mögen die kleineren Spalten in einer mächtigen Hauptspalte zusammentreffen; auf der Oberfläche werden zahlreiche kleinere Kegel an Stelle eines oder weniger großer Feuerberge das Ergebnis eines solchen Verhältnisses sein. Die losen Auswurfsprodukte der Tuff- und Aschenkegel bilden Böschungen von 30—35, ja selbst 40 Grad Neigung. Im Gegensatz hierzu stellen sich die ausschließlich oder fast ausschließlich aus Lavadecken bestehenden *Lavavulkane* als flach schildförmige Kuppeln dar, mit Böschungen von 3 bis höchstens 10 Grad Neigung. Nur das dünnflüssigste basische Magma, welches den Dämpfen und Gasen freien Abzug gestattet und daher Zerstäubungsprodukte in großem Maßstab nicht liefert, ist befähigt, diese merkwürdige Vulkanform zu schaffen, deren vorzüglichste Vertreter wir auf Hawai kennen gelernt haben. Trachytische Vulkane dieser Art sind nicht bekannt. Untersucht man die senkrechten Kraterwandungen und die Abhänge dieser Lavavulkane etwas näher, so findet man sie wohl größtenteils aus nahezu horizontalen Lavadecken bestehend, dazwischen aber kommen untergeordnet doch auch Bimssteine und Aschen vor, so daß ein unüberbrückter Gegensatz zwischen Tuff- und Lavavulkanen nicht vorhanden ist.

Die letzteren führen zu einer weiteren, höchst merkwürdigen Gruppe von Ausbruchsformen, den *Massenergüssen an Spalten*. Lange bevor Island die Wissenschaft um ausgezeichnete Beispiele solcher Spaltenergüsse bereichert hat, haben einzelne Geologen auf Grund ihrer Untersuchungen in erloschenen Eruptivgebieten der Tertiärformation auf der Existenz dieser Ergußform bestanden, und einzelne, wie F. v. Richthofen, haben diese Art der vulkanischen Äußerungen für viel bedeutungsvoller erklärt als die Tuffvulkane und deren Produkte.

Diese Auffassung wird begreiflich, wenn wir uns vergegenwärtigen, wie außerordentlich groß die Flächenräume sind, über welche sich derartige Decken ausbreiten. Im westlichen Nordamerika besteht in den Staaten Oregon, Washington, Kalifornien, Idaho und Montana eine

derartige Basaltdecke von 600—1200 m Mächtigkeit, deren Flächenraum demjenigen Frankreichs entspricht, und kaum wesentlich kleiner war jene Basaltdecke der Tertiärperiode, von welcher uns kleine Bruchteile in Island, Irland und auf den Farörn und Hebriden erhalten sind. In Afrika tritt uns eine beträchtliche derartige Decke in Abessinien entgegen, und in Ostindien breiten sich horizontale Basalt- und „Trapp"-Decken und Tuffe in einer Mächtigkeit bis zu 2000 m und darüber über eine Fläche von 200,000 engl. Quadratmeilen aus. Dazu treten noch die dioritischen, andesitischen und rhyolitischen Massenergüsse zwischen dem Felsengebirge und der Sierra Nevada und jene kleineren andesitischen Rückengebirge, wie wir sie vom südlichen Abbruch der Karpathen kennen, und zahlreiche andere kleinere Vorkommnisse.

Thoroddsen hat gezeigt, daß bei manchen Spaltenergüssen die Gesamtheit der Erscheinungen einfach aus der Bildung der Spalte und dem Überquellen der Lava besteht; in anderen Fällen wird über der Spalte eine lange Reihe gesellig aneinander gefügter kleiner Aschen- und Schlackenkegel gebildet. Aber diese letzteren haben eine nur untergeordnete Bedeutung. Bei einem neuen Ausbruch ergießt sich die Lava aus einer anderen Spalte, eine Lavaflut häuft sich über die andere, die losen Schlackenkegel werden eingeebnet und verschwinden, und wenn durch Erosion oder Senkungen ein Querschnitt freigelegt wird, sieht man nur Lavabänke mit den dazu gehörigen Gängen und hier und da eine zwischenliegende lose Aschen- und Schlackenmasse als letzten Rest jener Kraterreihen.

Auch die Spaltenergüsse bilden keine unvermittelt abgesonderte Gruppe. Sie vollziehen sich häufig unter Aschenwürfen, man findet daher zwischen Lavabänken auch Tufflagen eingeschaltet. In Dekhan, in Nevada und in den Karpathen spielen die Tuffe sogar eine wesentliche Rolle, und so können bei Massenergüssen Verhältnisse eintreten, welche Beziehungen zu den Tuffvulkanen herstellen. Anderseits besteht eine Verwandtschaft mit den flachen Lavavulkanen. Vergleicht man den Querschnitt eines solchen mit dem eines Spaltengusses, so wird man in beiden Fällen dieselbe Aufeinanderfolge von flachen oder horizontalen Lavabänken und einzelnen zwischenliegenden Tuffschichten vor sich haben, und wenn zufälligerweise die Spalte nicht mehr nachweisbar, oder der Krater erloschen und durch Denudation verunstaltet ist, wird es sehr schwer fallen, zu entscheiden, ob die betreffende vulkanische Decke einem Lavavulkan oder Massenergüssen ihren Ursprung zu verdanken habe.

In manchen erloschenen Vulkangebieten stoßen wir auf kuppen- oder domförmige Vulkanberge, welche nur aus kompakten, meist sehr kieselsäurereichen Lavagesteinen ohne Begleitung von Tuffen oder Asche bestehen. Derartige Vorkommnisse hat namentlich von Seebach unter der Bezeichnung homogener oder massiger Dom-Vulkane zusammengefaßt. In vielen Fällen wird es sich aber kaum nachweisen lassen, ob die betreffende Kuppe in Wirklichkeit massig, d. h. ohne Begleitung von Zerstäubungsprodukten und nicht aus einem Krater heraus gefördert wurde; es kann vielmehr der Zweifel entstehen, ob das Aufquellen der Kuppe nicht in einem Tuffring erfolgte, welcher später durch Denudation entfernt wurde, während die Kuppe selbst ihrer bedeutenderen Festigkeit halber der Verwitterung widerstand. Vorkommnisse, wie der Puy de Sarcoui in Frankreich, bei welchem ein Teil des Kraterringes in der Umgebung der Kuppe noch erhalten ist, bilden eine lebhafte Illustrierung zu dem angenommenen Falle. Auch der jugendliche Lavaerguß der Kameni-Inseln im Krater von Santorin gehört in diese Kategorie. Immerhin sind diese Massen kuppenförmig aufgequollen und vermitteln als Kraterkuppen zwischen den gewöhnlichen Kraterergüssen und den angenommenen, aber problematischen echten Quellkuppen, um den bezeichnenden Ausdruck Reyers zu verwenden. Die Entscheidung über die wahre Natur einer vulkanischen Kuppe bietet überhaupt bedeutende Schwierigkeiten. Manche Kuppen sind nichts anderes, als ringsum denudierte Stromteile, sehr viele sind Vulkanstiele, wieder andere entstehen durch

Bloßlegung der Ausfüllungsmasse von Kratereſſen, und dieſe letzteren werden wir im folgenden Abſchnitt noch näher beſprechen. Den größten Anſpruch auf die ſelbſtändige maſſige Eruptionsform der Quellkuppe haben vielleicht die Phonolithkuppen, die man namentlich in Böhmen und in Süddeutſchland ſeit langer Zeit kennt. Solche Kuppen, wie der Schloßberg von Teplitz in Böhmen, ſind ſchalig gebaut, wie die Blätter einer Zwiebel legen ſich die einzelnen Schalen aufeinander, und Reyer erklärt dieſe Erſcheinung durch Nachſchübe in das Innere der in ſehr zähflüſſigem, halbſtarrem Zuſtand aufgequollenen Eruptivmaſſe.

Wenn man das bezeichnende Merkmal eines Vulkans im Vorhandenſein eines Kraters erblickt, wie dies von manchen Vulkanologen geſchieht, ſo hat man Tuff- und Lavavulkane zu unterſcheiden und dieſen die Spaltenergüſſe und Quellkuppen als beſondere Formen vulkaniſcher Vorgänge gegenüberzuſtellen. Faßt man jedoch den Begriff Vulkan etwas weiter und legt Wert auf die Art der Förderungen, ſo ergeben ſich die Lavavulkane, Spaltenergüſſe und Quellkuppen als homogene Vulkane im Gegenſatz zu den Vulkanen vom Veſuvtypus, an deren Zuſammenſetzung Tuffe und Laven gleichmäßig beteiligt ſind. In jedem Falle aber wird man ſich vor Augen halten müſſen, daß dieſe Typen nicht ſcharf begrenzbar, ſondern im Gegenteil durch viele Wechſelbeziehungen miteinander verbunden ſind.

Zerſtörung der Vulkanberge.

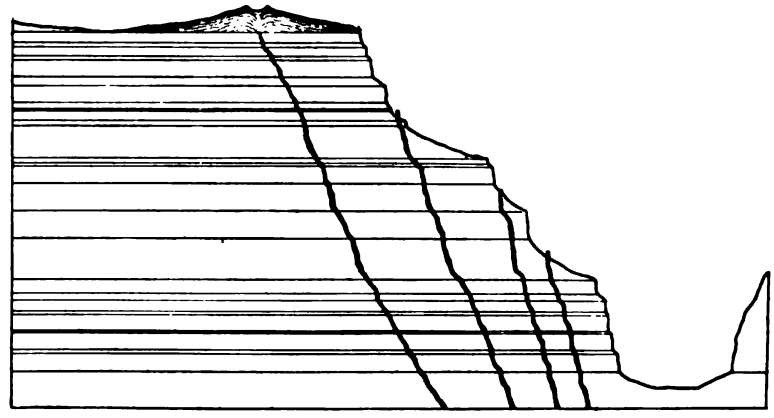
Unſere bisherigen Betrachtungen über die Vulkane haben nur den vulkaniſchen Erſcheinungen der Erdoberfläche gegolten, aber dieſe ſind nur die äußeren Anzeichen von bedeutungsvollen Vorgängen in den tieferen Teilen der Erde, und wenn wir in das Weſen des Vulkanismus etwas näher eindringen wollen, müſſen wir verſuchen, die allmähliche Zerſtörung und Entkleidung der Vulkanberge kennen zu lernen und ſchrittweiſe den Wegen des Magmas in jenen tieferen Partien der Erdrinde nachzugehen, ſoweit uns die Verhältniſſe in der Natur dies geſtatten.

Wenn wir unſeren Ausgang nehmen von jenen unbedeutenden Aufſchüttungen, wie Monte Nuovo oder Cinder Cone, oder jenen kleineren Kegel auf dem Colorado-Plateau, die Dutton ſo anſchaulich beſchrieben hat (ſ. Abbildung, S. 271), ſo iſt unſere Beobachtungsreihe bald erſchöpft. Derartige loſe Kegel müſſen der Abwaſchung durch die Atmoſphärilien in kurzer Zeit zum Opfer fallen; was zurückbleibt, iſt ein ſchmaler Eruptivgang, geſchichtete Ablagerungen quer durchſchneidend. Wenn wir aber ſehen, daß ſolche dünne, faſt fadenförmige Gänge eine 800 m mächtige Schichtfolge durchſetzen, wie dies am Colorado-Plateau der Fall iſt, ohne zu erkalten die obere Kante erreichen und über der Austrittsſtelle einen Kegel aufſchütten, ſo werden wir uns des Eindrucks nicht erwehren können, daß das Aufſteigen des Magmas unmöglich in einem einfachen Emporquellen beſtanden haben konnte; es mußte vielmehr unter bedeutendem Druck in dieſe feinen Spalten hineingetrieben ſein. Sehr treffend vergleicht E. Sueß dieſe Art des Auftretens mit den Injektionen eines anatomiſchen Präparats.

Bei größeren Vulkanen, welche im Inneren des Tuffkegels einen weiten, mit kompakter Lava erfüllten Lavaraum enthalten, wird die Denudation zunächſt die lockere Tuffhülle entfernen und die Ausfüllungsmaſſe des Lavaraums in Form einer mehr oder minder rundlich umriſſenen Kuppe bloßlegen, ein Vorgang, deſſen Bedeutung beſonders von Hamilton, Hochſtetter und C. Fuchs betont worden iſt. Ein großer Teil der vulkaniſchen Kuppen wurde ſeither mit dieſem Vorgang in Verbindung gebracht, und erſt kürzlich hat Dutton auf dem Zuñi-Plateau in Neumexiko eine große Anzahl derartiger, im Engliſchen „necks“ genannter Kuppen in allen möglichen Denudationsſtadien, zum Teil noch mit beträchtlichen Reſten des Aſchenkegels, nachgewieſen.

In Schottland haben die Brüder Geikie solche Vulkanachsen untersucht und ebenfalls noch bedeutende Reste der Tuffkegel erkannt. Letztere Vorkommnisse sind namentlich deshalb ganz besonders interessant, weil die Tufflagen dieser Necks in Sandstein der Permformation eingreifen und daher das permische Alter dieser Vulkane erwiesen ist.

Vulkane nach Art des Vesuv oder Ätna mit zahlreichen, den Tuff durchsetzenden Gängen und zwischengelagerten Lavaströmen müssen denudiert etwas kompliziertere Verhältnisse darbieten. Wenn keine seitlichen Einstürze oder Explosionsthäler vorhanden sind, wird die Denudation nach allen Richtungen gleichmäßig wirken; es werden zunächst jene radialen, von der Spitze des Kegels nach allen Richtungen ausstrahlenden Rinnen, die kleinen Barancos, entstehen, später wird die leichte und lockere Asche immer tiefer ausgewaschen, und mit ihr brechen die oberen Teile der Lavaströme zusammen, deren untere Partien am Fuße des Berges oder weiter außerhalb von ihrem Ursprungspunkt abgetrennt werden. Die kompakten Lavagänge erweisen sich als widerstandsfähiger, sie schützen die benachbarten Aschenmassen und treten am Scheitel des Berges in strahlenförmiger Anordnung hervor. In diesem Zustande der Abtragung befindet sich der ehemalige Trachytvulkan des Monte Venda in den Euganeen bei Padua, welchen wir an der Hand der meisterhaften Darstellung von E. Sueß und E. Reyer etwas näher kennen lernen wollen.

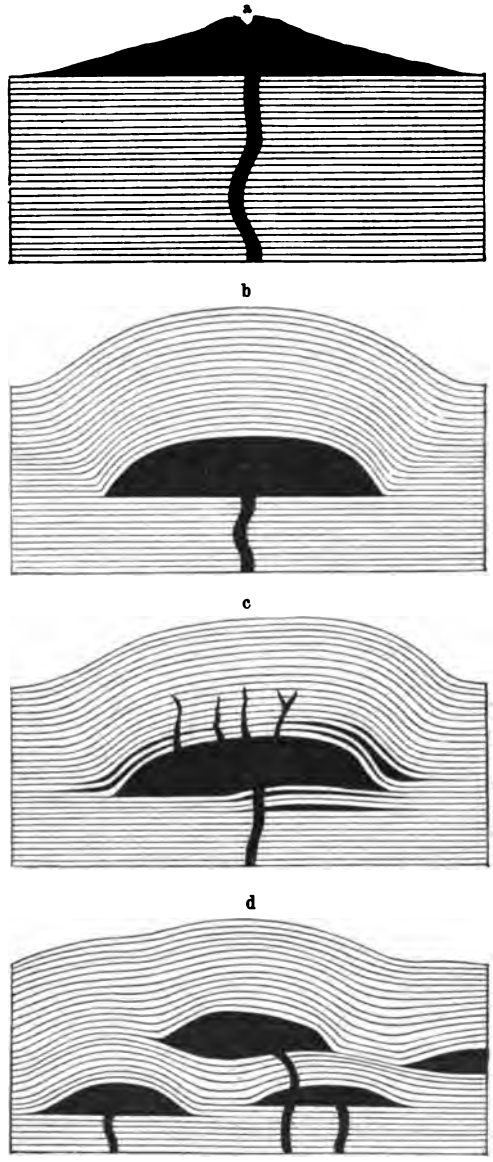


Vulkanische Gänge mit Aufschüttungskegel am Toroweap-Cañon des Colorado-Plateaus in Nordamerika. (Nach C. E. Dutton.) Vgl. Text, S. 270.

Das Zentrum des Gebietes nehmen Trachyttuffe ein, durchzogen von zahlreichen Trachytgängen, von denen einige auch in den Bereich der am Rande stehenden Sedimentärhügel hinausreichen. Die Gänge sind der Mehrzahl nach so angeordnet, daß sie in ihrer Richtung strahlenförmig gegen einen im Zentrum der ganzen Berggruppe am östlichen Ende des Monte Venda gelegenen Punkt zusammenlaufen. Der Venda selbst und seine Umgebung besteht aus Tuffen, und aus diesen ragen die größeren und mächtigeren Trachytgänge als langgestreckte, oft sehr steile Bergkämme hervor. Ein solcher Radialgang ist der schroffe Felsrücken des Monte Pendise, der die Trümmer der Ezzelinsburg trägt; auf einem anderen steht das Kloster Rua, und auf diese Weise gruppiert sich eine ganze Anzahl von stärkeren und schwächeren Gängen strahlig um den Zentralpunkt am Venda. Um die Mitte der Tertiärzeit, als die Thätigkeit der Euganeen endgültig erlosch, mag über dem Venda ein Aufschüttungskegel, ähnlich dem Ätna, gestanden haben, dessen Reste in den zentralen Tuffmassen zu suchen sind. Die Radialgänge sind die Ausfüllungen jener Spalten, welche einst den Seitenausbrüchen und den parasitischen Kratern die Lava zuführten, und die Reste der Stromenden sind in jenen Trachytkuppen erhalten, die auf den höheren Partien der mesozoischen und tertiären Sedimente an den Rändern des Gebirges aufliegen.

In den Euganeen ist auch die Unterlage des ehemaligen Vulkans bloßgelegt, und dies ist von besonderem Interesse. Die tiefste entblößte Felsart ist eine bei Fontana Fredda auftretende Masse von Oligoklas-Trachyt. Über ihr folgen nordwestlich geneigte oberjurassische Kalksteine, auf

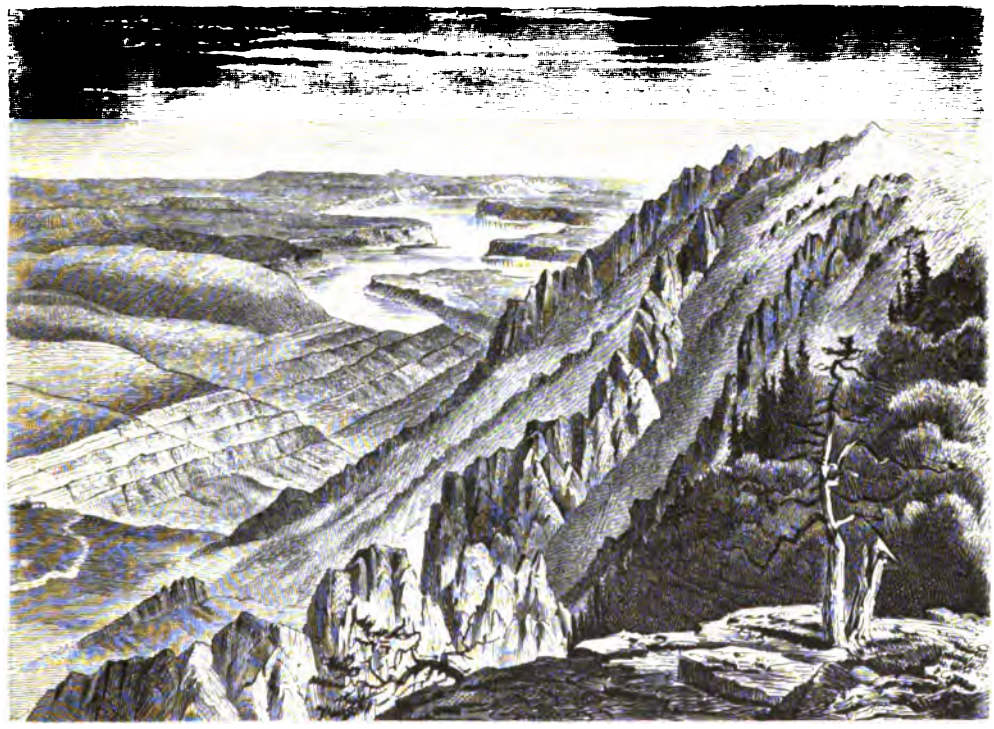
2—3 Fuß vom Trachyt in lichten, körnigen Marmor umgewandelt. Diese Marmorisierung verliert sich in dem Maße, als man sich vom Kontakt der eruptiven Felsart nach oben entfernt. Der Trachyt hat hier eine Veränderung des aufliegenden Kalksteins hervorgebracht, er mußte also seitlich vom Hauptschlot ab in die Schichten eingedrungen sein. Über dem Kalkstein des Oberjura folgt die Kreideformation und das Eocän, und auch die erstere enthält mehrere derartige seitlich eingedrungene Eruptivmassen. Das Bild des Vulkans erfährt hier eine sehr wesentliche Ausgestaltung. Wir sehen, daß der Zuführungsschlot nicht immer die Form eines einfachen Eruptivganges besitzt, wie bei dem kleinen, auf S. 271 abgebildeten Vulkankegel des Colorado-Plateaus (s. nebenstehende Abbildung a). Es zeigt sich vielmehr, daß in verschiedenen Höhen übereinander lagerförmige Lavamassen vom Zuführungsgang seitlich abzweigen und in die geschichteten Gesteine, diese am Kontakt verändernd, eindringen können.



Schematische Querschnitte: a) durch einen normalen Vulkan, b) durch einen einfachen Lakkolithen, c) durch einen Lakkolithen mit Ausläufern, d) durch eine Lakkolithengruppe. (Nach Gilbert.)

Dem Wesen nach ähnlich, nur außerordentlich größer als die euganeischen Intrusivlager, sind jene Eruptivmassen Nordamerikas, welche Gilbert unter der Bezeichnung **Lakkolithen** (wörtlich „Cisternensteine") beschrieben hat. Diese sind domartig gewölbte, zwischen die Schichtgesteine eingeschaltete Massen von Trachyt, über welchen die Schichtgesteine ebenfalls domförmig aufgetrieben sind und vom Zentrum nach allen Seiten hin abfallen, so daß ein Querschnitt durch einen Lakkolithen Verhältnisse zeigt, wie sie in der nebenstehenden Abbildung b angegeben sind. Manchmal ist die Decke des Lakkolithen von einem Netz radialer Sprünge durchzogen, und diese sind mit Trachyt von unten her ausgefüllt (s. Abbildung c), und wieder in anderen Fällen liegen mehrere Lakkolithen in Gruppen beisammen (s. Abbildung d). Natürlich würde man an der Oberfläche nur kolossale Dome von sedimentären Gesteinen sehen und keine Spur der darunter liegenden Trachyte bemerken, wenn nicht die Erosion und Denudation, die Zerstörung der Gesteine durch Wasser, Frost und ähnliche Agenzien, im Verlauf von Millionen von Jahren diese Kuppeln angeschnitten, die oberen Teile derselben entfernt und die Verhältnisse der Tiefe bloßgelegt hätten. Nach Gilbert haben diese abtragenden Kräfte nicht nur eine zusammenhängende Decke von Tertiärbildungen in einer Mächtigkeit von mehreren tausend Fuß vollständig vernichtet, sondern auch von den obersten Kreidebildungen bis zur Kohlenformation hinab Durchschnitte

erzeugt. Die meisten Lakkolithen sind auf diese Weise bloßgelegt, und da der Trachyt der Verwitterung viel besser widersteht als die Sandsteine und Schiefer, die ihn umhüllen, so ragt in der Regel der Trachyt, den Höhepunkt eines Berges bildend, empor, umgeben von einem niedrigeren Mantel nach allen Seiten abfallender Schichten (s. untenstehende Abbildung). Des besseren Verständnisses halber ist auf S. 274 eine schematische Darstellung des Mount Ellsworth beigefügt, desselben Berges, welcher unten abgebildet ist. Die Abbildung auf S. 274 stellt ein aus der Erde herausgeschnittenes Stück dar, dessen Seitenkanten etwa eine Höhe von 4000 m haben. Die Fläche **aa** zeigt die Oberfläche des Landes mit der Lakkolithenauftreibung, wie sie aussehen

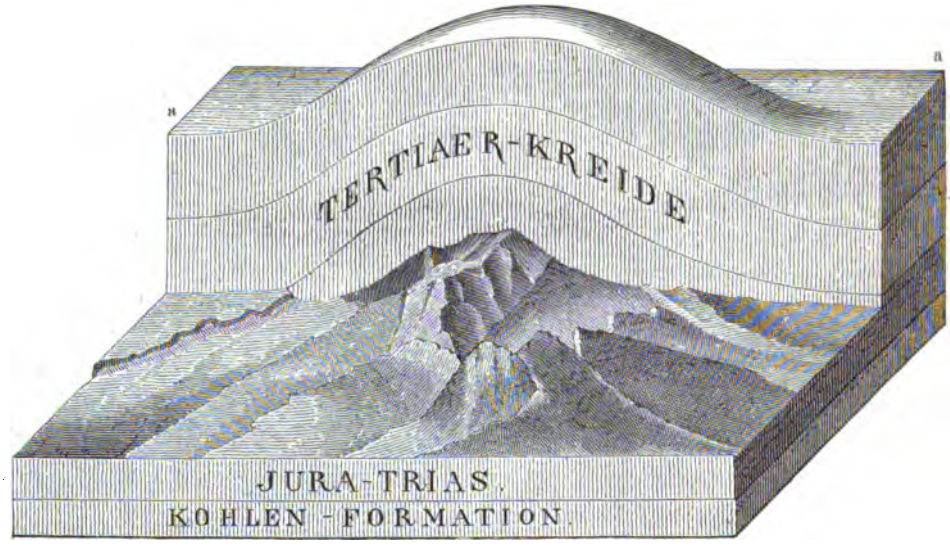


Ansicht eines Lakkolithen, Mount Ellsworth. Der Berg besteht aus Trachyt, links in der Tiefe die Schichtköpfe der aufgerichteten Sedimentärgesteine. (Nach Gilbert.)

würde, wenn gar keine Erosion gewirkt hätte; es ist jedoch nur die hintere Hälfte in dieser Weise dargestellt, der vordere Teil der Abbildung gibt die Verhältnisse, wie sie sich durch die Wirkung der Erosion in Wirklichkeit gestaltet haben.

Am besten bekannt sind die Lakkolithen der Henry Mountains im südlichen Teile des Staates Utah, zu denen auch der abgebildete Mount Ellsworth gehört. Es sind dies fünf isolierte Bergmassen, welche sich auf dem hier 1500 m hohen Plateau in ihrem höchsten Gipfel, dem Mount Ellen, bis zu 3429 m erheben. Die Lakkolithen liegen in Gruppen über- und nebeneinander und bilden den Kern dieser Berge. Der Mount Ellen enthält vielleicht 30 Lakkolithen, der Mount Holmes zwei, der Mount Ellsworth nur einen. Nach der Höhe ihres Lagers reichen sie vom Karbon bis zur Kreide, aber die Zeit ihrer Bildung ist durchweg jüngeren Datums. Hillers Lakkolith ist der größte, er ist zur Hälfte entblößt, seine Höhe wird auf über 2000 m, seine Basis auf 6,4 und 5,6 km geschätzt. Von diesem gibt es Übergänge bis zu den kleinsten Massen. Am Mount Hesperus, in der Sierra la Plata (Südwestcolorado), hat Holmes einen

Lakkolithen nachgewiesen, welcher sich dadurch auszeichnet, daß von seiner Masse eine große Anzahl von Lagergängen seitlich in die Kreideschichten eindringt, und der von Endlich beschriebene Lakkolith der Spanish Peaks zeigt nicht nur seitliche Eruptivkeile, sondern auch ein Netz von Gängen am Scheitel. Bei einigen dieser Gänge scheint ein Ausquellen zu Tage stattgefunden zu haben. Wenn das von unten her in das geschichtete Gebirge eindringende Magma nicht zu dem schwerflüssigen Trachyt gehört, sondern ein dünnflüssiges basisches Magma ist, nimmt es nicht die Form von Domen oder mächtigen Broten an, sondern breitet sich bei viel geringerer Mächtigkeit über weit größere Flächen aus, ähnlich wie sich auch die sich zu Tage bewegende basische Lava viel weiter ausdehnt als die in kurzen massigen Strömen erkaltende saure. In dieser Form der sogenannten Lagergänge sind basische Eindringlinge in Europa schon seit langer Zeit bekannt. Ein Beispiel, welches diese Erscheinung in kleinerem Maßstab zeigt, ist S. 275 abgebildet. Die Veränderungen, welche die Schichten von Sandstein, Schiefer und Kalkstein so-



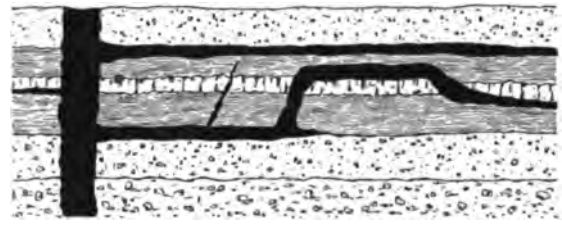
Modell eines Lakkolithen, Mount Ellsworth. (Nach Gilbert.) Vgl. Text, S. 273.

wohl im Liegenden als im Hangenden am Kontakt mit dem Basalt erfahren haben, beweisen, daß der letztere in das bestehende Schichtsystem eingedrungen ist und nicht etwa eine gleichzeitige Bildung vorstellt.

Vielleicht das großartigste Beispiel eines solchen intrusiven Lagerganges ist die unter der Bezeichnung Whin Sill bekannte Basaltlage, welche dem unteren Teile der Karbonformation in Northumberland eingeschaltet ist. Man hat den Whin Sill mit untergeordneten Unterbrechungen auf eine Erstreckung von 120—130 km nachgewiesen. Er erreicht eine Mächtigkeit von 23 m und darüber und liegt auf große Strecken zwischen Kohlenkalk, Sandstein und Schiefer, hält sich aber nicht an eine und dieselbe Schichtfuge, sondern steigt, ähnlich wie der abgebildete Basaltlagergang von der Insel Skye, in den karbonischen Ablagerungen nach oben und sinkt wieder tiefer, so daß die äußersten vertikalen Schwankungen, welche er erfährt, nach Topley und Lebour, nicht weniger als etwa 520 m betragen. Die Erscheinung ist so erstaunlich, daß man den Whin Sill wohl auch für einen dem Kohlenkalk gleichzeitigen deckenförmigen Erguß gehalten hat, bis die Erkenntnis seines Auf- und Abspringens in der Schichtreihe und die Kontaktveränderungen nach unten und oben jeden Zweifel an seiner intrusiven Natur beseitigten. Ebenso ist auch die intrusive Natur der Lakkolithen bestritten und die Möglichkeit einer gleichzeitigen Bildung mit

den umgebenden Sedimenten ausgesprochen worden. Der Vorgang wurde folgendermaßen gedacht: Es hätten sich über eine horizontale Bank von Sediment strengflüssige Laven submarin ergossen und zu domförmigen Massen aufgetürmt, und diese wären von jüngeren Ablagerungen überdeckt worden; Nachschübe von zähflüssigem Magma hätten die Masse heiß erhalten und die Kontaktveränderungen über und unter dem Lakkolithen bewirkt.

Gegen diese Annahme sprechen aber viele Umstände, zunächst der, daß die Schichten über den Lakkolithen niemals Trachytstücke enthalten, was doch unvermeidlich wäre, wenn sie sich über einer neu ergossenen Eruptivmasse gebildet hätten. Der Trachyt ist nie blasig und schlackig, es ist keine Spur von Tuffen vorhanden, wie man bei einer Ergußbildung am Meeresgrund erwarten müßte. Auch die Schichtstellung der umhüllenden Gesteine spricht dagegen, noch mehr die Kontaktmetamorphose im Hangenden der Lakkolithen. Wir wissen, daß Laven an der Oberfläche außerordentlich rasch erkalten, auch wenn im Inneren der Lavamasse noch bedeutende Temperaturen herrschen; eine Kontaktmetamorphose kann aber von einer derart erkalteten Lavakruste unmöglich ausgehen, auch wenn die Temperatur im Inneren durch intrusive Nachschübe auf einem hohen Stande erhalten bleibt. Endlich ist noch ein Gesichtspunkt von Bedeutung vorhanden: Die Trachyte der verschiedenen Lakkolithen, mögen sie zwischen Schichten der Kohlenformation, des Jura oder der oberen Kreide liegen, unterscheiden sich nicht wesentlich voneinander. Nun wissen wir aber, daß wohl kein Vulkan der Erde auch nur vom Miocän bis zur Jetztzeit fortwährend dieselben Eruptivgesteine geliefert hat; wir können um so weniger annehmen, daß in dem unvergleichlich viel längeren Zeitraum von der Kohlen- bis zur Kreideformation das Trachytmaterial der Lakkolithen sich gleichgeblieben sei; sie müssen demnach einer verhältnismäßig kurzen Zeit angehören, und es können also die Lakkolithen nicht durch Einlagerung während der Sedimentbildung entstanden sein.



Basaltgang der Insel Skye, mit seitlichen Intrusivlagern zwischen Sand- und Kalkschichten. (Nach J. W. Judd.) Vgl. Text, S. 274.

Fassen wir alle diese Thatsachen zusammen, so kommen wir zu dem Ergebnis, daß Lakkolithen in der That nach Ablagerung der ganzen Reihe der Sedimentgesteine, vielleicht erst während der späteren Tertiärzeit, sich zwischen die fertigen Bänke der Sandsteine und Schiefer eingezwängt und diese domförmig emporgewölbt haben. In einzelnen Fällen ist die Kuppel gesprengt, und es mochte ein Ausfließen von Lava zu Tage stattgefunden haben. Auch von den Zuführungsschloten der Vulkane sehen wir lakkolithenartige Intrusionen seitlich abgehen und keilförmig in die vom Zuführungsschlot durchbrochenen Schichten eindringen. Je nach Art des Magmas haben dieselben bald die Brotlaibform der Lakkolithen, bald bilden sie schmale, aber weit ausgedehnte Lagergänge.

Wir gelangen nun, nachdem wir die seitlichen Intrusionen der Zuführungsschlote kennen gelernt haben, zu diesen selbst. Man kennt schon eine ganze Reihe von Gebieten, wo mitten zwischen Ergußgesteinen tief denudierte stockförmige Partien von vollkristallinisch-körnigen Gesteinen vorkommen, die man als die Ausfüllung des Zuführungsschlotes betrachten muß. Ein solches Gebiet sind die Inneren Hebriden. Daselbst dehnen sich mächtige basaltische Decken aus, deren schon bei der Besprechung Islands Erwähnung geschehen ist. Unter diesen treten auf den Inseln Mull, Ardnamurchan, Rum und Skye längs einer ungefähr nordsüdlichen, 88 km langen Linie vier granitische Massen hervor, welche die Kerne von ebenso vielen großen ehemaligen Vulkanen bilden. Diese Kerne geben, nach Geikie und Judd, linsenförmige, dicke, propylitische Massen

seitlich in die mesozoischen Sedimente ab, deren intrusive Natur von Judd schon im Jahre 1874 erkannt wurde. Jeder der granitischen Kerne wird von später heraufgedrungenen basischen Felsarten, namentlich Gabbro, durchsetzt. Zu dem Granit gehören saure Ergußgesteine im Umkreis der Granitstöcke, während der Gabbro die basaltischen Ströme geliefert hat. Wir machen da die Erfahrung, daß dasselbe Magma, welches auf der Oberfläche glasig oder kristallinisch-glasig erstarrt ist, in der Tiefe der Zuführungsesse eine vollkristallinisch-körnige Beschaffenheit annimmt. Unter dem Einfluß des hohen Druckes geht das Magma in der Tiefe in eine Masse über, welche aus lauter gleichzeitig entstandenen Kristallen oder Kristallkörnern besteht. Die absorbierten Dämpfe und Gase können nur zum geringsten Teil entweichen, sie werden daher in Form von mikroskopischen Gas- und Flüssigkeitsporen im Gestein eingeschlossen.

Dieselbe Erscheinung bietet eine andere bevorzugte Stelle, Predazzo in Südtirol, dar, welche seit den Tagen L. von Buchs klassische Berühmtheit in der Geologie erlangt und eine große Litteratur hervorgerufen hat. Durch das Val Travignolo wurde hier ein uralter Vulkan der Triasperiode erschlossen. An den Bergen der Umgebung treten einerseits die Sedimentablagerungen der Trias, anderseits Eruptivgesteine, Granit, Syenit (Monzonit), Orthoklasporphyr und Melaphyr auf. Diese vier Felsarten sind durch ihre Lagerung, die Art und Weise, wie sie sich überdecken und in in Gängen durchsetzen, als derselben Ausbruchsperiode angehörig, als annähernd gleichzeitig gekennzeichnet. Die Basis der Berge, des Mulatto und des Dosso Capello, besteht vorwiegend aus Syeniten und Graniten; über denselben liegen Kalke der Trias, welche an der Auflagerungsstelle auf dem Massengestein in Marmor verwandelt sind und in dieser Kontaktzone eine Menge von Mineralbildungen enthalten. Gänge von Syenit und Melaphyr dringen aus dem Zentralstock in die Schichten der Trias. Auf der Höhe der umgebenden Berge liegen Melaphyrdecken auf Triaskalk als Reste von Lavaströmen ausgebreitet, und melaphyrische Tuffe ruhen zwischen den normalen Sedimenten der Trias. Auch hier sehen wir Ergußgesteine in räumlichem Zusammenhang mit den vollkristallinisch erstarrten Tiefengesteinen des Zuführungsschlotes.

An einer anderen Stelle, dem basischen Eruptivstock von Rongstock an der Elbe im nördlichen Böhmen, ist der Zusammenhang zwischen Erguß- und Tiefengesteinen weniger deutlich, kann aber mit Recht vermutet werden. In der Tiefe des Elbthales tritt daselbst ein nach E. Hibsch vollkristallinisches, basisches Gestein auf, welches die durchbrochenen Sedimente der Kreide und des älteren Tertiärs auf weite Strecken hin verändert und wohl als Zuführungsschlot für einen Teil der Basalte des böhmischen Mittelgebirges gedient hat.

In manchen Fällen greift die Denudation noch tiefer; sie kann zum Verschwinden sämtlicher Oberflächengebilde führen, und es bietet sich dann unserer Beobachtung nur noch eine Masse vollkristallinischer Tiefengesteine vom Typus des Granit, Syenit oder Diorit dar. Wenn nicht ein einzelner Vulkan, sondern eine Reihe von solchen bis in abyssische Tiefen der Zerstörung anheimgefallen ist, so werden wir wahrscheinlich finden, daß die einzelnen Zuführungsschlote zur Bildung einer zusammenhängenden, gestreckten Zone verschmelzen. Derartige Tiefengesteine treten im Banat zwischen Deutsch-Bogsan und Moldova an einer 78 km langen Bruchlinie in mehreren verlängerten Partien auf, die schon die Neigung erkennen lassen, zu einer Zone zusammenzutreten. Der Syenitzug von Brünn in Mähren endlich kann als ein Fall gelten, in welchem die Erosion vollständig ihr Werk gethan hat; ähnliche Massen von granitoidem Typus bezeichnen, wie Sueß sich ausgedrückt hat, die Narben, welche die verschwundenen Vulkane an der Erdoberfläche zurückgelassen haben.

Durch die Verfolgung der Denudationsreihe der Vulkane haben wir auf einem zuerst von Judd mit Erfolg betretenen Wege einige wichtige Erkenntnisse gewonnen, welche uns befähigen, das Auftreten mancher eruptiver Tiefengesteine auf der Erdoberfläche richtig zu beurteilen.

Daneben sind uns aber in überwiegender Mehrzahl Vorkommnisse von granitischen Tiefengesteinen bekannt, deren Deutung noch viel Unsicherheit anhaftet. Diese Granitmassen sind stets unregelmäßig rundlich oder elliptisch begrenzt, sie liegen eingebettet in kristallinische Schiefer oder in Schichtgesteine der ältesten Formationen und haben Kontaktwirkungen nach oben, gegen die auflagernden Gesteine ausgeübt, in welche sie wohl auch Gänge oder Apophysen abgeben. Solche Granitmassen findet man ebensowohl in den Vogesen, wie in der böhmischen Masse, im Harz, in Irland und Schottland, in Norwegen, in den Alpen und in vielen anderen Gegenden. In vieler Beziehung zeigen sie Übereinstimmung mit dem Auftreten der Lakkolithen, und es sind auch in der That manche dieser Massen als Lakkolithen aufgefaßt worden. Sie unterscheiden sich von den letzteren namentlich durch weit bedeutendere Größe. In der Erdkruste können Bewegungen stattfinden, welche den Abhub oder Abstau einer Decke jüngerer Sedimentgesteine zur Folge haben. Dadurch mögen in der Tiefe große Hohlräume gebildet worden sein, und in diese mußte sofort die granitische Masse eintreten, die Decke verändernd und Gänge in ihre Spalten entsendend. Die auf diese Weise entstandenen, **Batholithen** genannten Massen von Tiefengesteinen müßten in ihrem geologischen Auftreten mit den oben erwähnten Granitmassen übereinstimmen. Geht die Decke eines Batholithen zu Bruch, so kann dieser möglicherweise eine Quelle bilden für Laven, welche durch die sinkende Scholle in die Höhe getrieben werden und an Spalten austreten.

Wenn es den Forschungen künftiger Jahre gelänge, auf diesem von E. Sueß gewiesenen Wege das Dunkel zu erhellen, das noch immer jene Granitmassen umgibt, so würde nicht allein diese Frage gelöst, sondern auch über die Gesamtheit der vulkanischen Erscheinungen neues Licht verbreitet sein.

Ursachen der vulkanischen Erscheinungen.

Die vorausgehende Übersicht hat uns Bau und Entstehung, Thätigkeit und Zerstörung der Vulkane und ihre Verbreitung auf der Erde kennen gelehrt. Die thatsächlichen Erscheinungen sind besprochen, und es ist nun unsere Aufgabe, nach der Ursache derselben zu fragen. Während Werner die Vulkane nur als lokale und bedeutungslose Erscheinungen betrachtet hatte, sah die spätere plutonistische Schule in ihnen „die Reaktionen des feurig-flüssigen Erdinneren" gegen die Oberfläche; die unter der nur wenige Meilen dicken Erdkruste gelegene geschmolzene Masse sollte von Zeit zu Zeit eigenmächtig die Hülle durchbrechen und zum Ausbruch gelangen. Diese Auffassung hat wohl nur noch wenige Anhänger; wir haben in einem früheren Abschnitt (S. 128) gesehen, daß die Annahme einer sehr dünnen Erdrinde unhaltbar ist, und damit entfallen alle weiteren Folgerungen von selbst.

Die Vorstellungen der plutonistischen Schule wurden namentlich durch die Anschauungen von Lyell verdrängt, welcher anzunehmen geneigt war, daß der Herd der vulkanischen Thätigkeit in den oberflächlichen Regionen, in den Schichtgesteinen, liege, und daß sich die Lava nur durch lokale Schmelzung solcher bilde. An Stellen der Erdrinde, an welchen die Mächtigkeit der Sedimente besonders groß ist, sollte sich infolge der Durchwärmung vom glühend heißen Erdinneren aus die Temperatur in den tiefsten Schichten so sehr steigern, daß eine Schmelzung derselben eintreten müsse. Speziell wurde dies deshalb angenommen, weil die Sedimentgesteine Wasser führen und die Anwesenheit desselben die Schmelzung erleichtert.

Auch diese Hypothese hält einer strengeren Prüfung nicht stand. Wir werden in einem späteren Abschnitt sehen, daß die Sedimentgesteine durch große Eintönigkeit ihrer Formausbildung bei sehr mannigfaltiger chemischer Zusammensetzung charakterisiert sind, während umgekehrt

die Massengesteine trotz der überreichen Abänderungen in der mineralogischen Entwickelung doch in chemischer Hinsicht sehr gleichartig sind. Unter diesen Umständen ist, wie namentlich von Richthofen gezeigt hat, die Annahme ganz unmöglich, daß die so gleichmäßig zusammengesetzten Laven durch Schmelzung der verschiedenartigen Schichtgesteine entstanden seien.

Eine andere Hypothese ist von Mallet ersonnen worden, welcher die Entstehung flüssiger Laven ausschließlich durch in Wärme umgesetzte Arbeit zu erklären sucht. Wenn sich der flüssige Erdkern abkühlt und infolgedessen zusammenzieht, so wird die äußere Rinde nicht mehr unterstützt sein, sie wird nachsinken; dabei werden nun Gesteinspartien durch den ungeheuern Druck der auflastenden Massen vollständig zermalmt, die dabei aufgewendete Arbeit wird in Wärme umgesetzt, diese schmelzt die Gesteine und liefert gleichzeitig durch Erhitzung des in den letzteren enthaltenen Wassers den Dampf, welcher durch seine Spannung die Laven nach aufwärts treibt. Der Beweis für diese Voraussetzungen wurde durch Rechnung und Experiment versucht, die in der That die Möglichkeit und Wirklichkeit dieser Vorgänge zu beweisen *scheinen*. Doch sind hierbei bedeutende Fehlerquellen übersehen: So hat Mallet zwar gefunden, daß die härtesten Gesteine zermalmt werden, wenn der auf ihnen lastende Druck 14 Tonnen (14,000 kg) auf den Quadratzoll beträgt, hat aber außer acht gelassen, daß diese Experimente mit freiliegenden Gesteinswürfeln, nicht, wie der Fall in der Natur liegt, mit Massen rechneten, die von allen Seiten von ähnlichen Massen umgeben sind. Auch wurde bei der Berechnung die Senkung ganz ungerechtfertigterweise als eine momentane angenommen, während in Wirklichkeit dieser Vorgang aller Wahrscheinlichkeit nach sehr langsam erfolgt.

Wenn wir uns nun zu dem Versuch wenden, eine *Erklärung der vulkanischen Erscheinungen* zu geben, so müssen wir vorerst eine möglichst genaue Scheidung derselben vornehmen. Unserer Betrachtung drängen sich zunächst jene Erscheinungen auf, welche sich im Krater zur Zeit der Eruption abspielen, und es erhebt sich die Frage, auf welche Ursachen die Verschiedenartigkeit der Kraterthätigkeit zurückzuführen ist. Wir werden aber auch fragen müssen, wodurch nach abgespielter Eruption die Wiederkehr der vulkanischen Thätigkeit bewirkt wird, und endlich wird uns die Aufgabe erwachsen, der ursprünglichen Entstehung der Feuerberge näher zu treten.

In vielen Fällen haben die Eruptionen einen explosiven Charakter, sie sind von Detonationen, Erschütterungen des Bodens, Ausstoßen gewaltiger Dampf- und Aschenmassen begleitet. Die Lava wird hierbei durch Dampfexplosionen zerrissen, in Bombenform in die Luft geschleudert, zerstäubt und selbst in feinsten vulkanischen Dunst verwandelt. In Fällen von besonders stürmischem Charakter kommt es zu explosiven Zerstörungen des Kraters oder zur Bildung von Explosionskesseln. Daneben kennen wir einen Typus von ruhigen Ausbrüchen, welche wesentlich im einfachen Ausfließen von Lava bestehen, ohne Erschütterungen und Detonationen, ohne Auswurf von Zerstäubungsprodukten.

Der Augenschein lehrt, daß die unmittelbare *Ursache der Eruptionserscheinungen* in der Thätigkeit der aus der Lava austretenden *Dämpfe und Gase* gelegen ist; wir wollen daher vorerst darüber Klarheit gewinnen, aus welcher Quelle diese stammen. Viele Gründe zwingen uns zu der Annahme, daß schon bei der Bildung und Individualisierung der Erde aus einem Dampfball die flüssigen Massen mit Gasen durchtränkt und gesättigt wurden, wie dies namentlich von Angelot, Tschermak und Reyer erwiesen ist. Daneben findet aber auch in der Erdkruste eine Bereicherung des aufsteigenden Magmas mit Dampf und Gasen statt. Durch Spalten, noch mehr aber auf dem Wege der kapillaren und diffusen Wanderung durch das Gestein hindurch gelangt Wasser, beziehungsweise Dampf infolge des enorm hohen auflastenden Druckes in die Tiefe und kann vom Magma absorbiert werden. Dieser Vorgang ist, wie die Versuche Daubrées dargethan haben, physikalisch möglich, und daß er thatsächlich stattfindet, dafür liegen mehrfache

Beweise vor. Sehr vernehmlich spricht dafür unter anderem der Umstand, daß die weit überwiegende Mehrzahl der Eruptionen auf Hawai in die Regenzeit fällt; das Magma ist also in dieser Zeit stärker mit Dampf imprägniert, was nur auf die höhere Bergfeuchtigkeit und die Aufnahme derselben seitens der Lava zurückzuführen ist. Das Magma erhält also aus zwei Quellen Zuschüsse von Dampf und Gasen, es läßt sich aber gegenwärtig noch nicht sicher angeben, welche von beiden größere Mengen liefert; man ist aber im allgemeinen geneigt, die ursprüngliche Durchtränkung für maßgebender anzusehen, während der von oben her zufließenden, wie wir später sehen werden, eine große Bedeutung für die Belebung der vulkanischen Ausbrüche zugeschrieben wird.

Die Beziehung zwischen der Eruptionsform eines Magmas und seiner Durchtränkung hat man sich zumeist in der Form gedacht, daß der stärkere Dampfgehalt einen mehr explosiven Charakter der Ausbrüche bedinge. Vielleicht nimmt aber eine andere Eigenschaft der Lava in noch höherem Maße hierauf Einfluß, nämlich die größere oder geringere Dünnflüssigkeit, welcher namentlich Dana eine entscheidende Bedeutung zuschreibt. Dünnflüssige Lava gestattet Gasen und Dämpfen freien, ungehinderten Austritt. Es können sich daher unter dem Lavaspiegel nur geringe Dampfmengen ansammeln, welche austretend nur eine unbedeutende Wurfkraft zu entfalten im stande sind. Die vom Dampf mitgerissenen Lavafetzen werden nur in mäßige Höhen geschleudert und fallen in noch glühendem Zustand in den Krater zurück, eine Zerstäubung der Lava ist völlig ausgeschlossen; die Vulkane von Hawai lassen dies auf das klarste erkennen. Bei dickflüssiger, viskoser Lava dagegen entsteht auf der Oberfläche sehr rasch eine zähe, halbstarre Decke, unter welcher sich gewaltige Dampfmassen ansammeln müssen, bevor ein Zerreißen derselben eintreten kann. Die weitere Folge dieses Verhältnisses müssen heftige Explosionen und Zerstäubungen der Lava bilden.

Die Ursache der verschiedenen Verflüssigung sucht Dana nicht, wie oft angenommen worden ist, in dem größeren oder geringeren Gehalt an absorbierten Dämpfen und Gasen, sondern in der Zusammensetzung der Laven aus teils leicht, teils schwer schmelzbaren Mineralen. Dieselbe Temperatur, welche einer sauren, aus schwer schmelzbaren Mineralen bestehenden trachytischen Masse eine halbflüssige Beschaffenheit verleiht, kann genügen, um dem basischen Basalt, dessen Bestandteile viel leichter schmelzbar sind, die freieste Beweglichkeit der Teilchen zu sichern. Die gleiche Anfangstemperatur vorausgesetzt, werden von allen Magmen die basaltischen durch Abkühlung in der Erdkruste und auf der Oberfläche am wenigsten von ihrer Dünnflüssigkeit einbüßen, während saure Laven eine viskose Beschaffenheit annehmen müssen, und so ist ein bestimmtes Abhängigkeitsverhältnis zwischen der Art der Ausbrüche und der mineralischen Zusammensetzung der Laven gegeben.

Das Material des Vulkankegels und der Bau des Kraterschlundes müssen ebenfalls den Verlauf der Ausbrüche beeinflussen. Ein großer, weit offener, schachtförmiger Kraterschlund wird die unbehinderte Entbindung der Dämpfe gestatten, ein stellenweise verengter dagegen die Ansammlung von Dämpfen begünstigen und eine höhere Wucht der Explosionen zur Folge haben. Ebenso muß ein aus massiver Lava aufgebauter flacher Vulkan dem Versuch einer explosiven Aussprengung einen weit höheren Widerstand entgegensetzen als ein vorwiegend aus lockerem Tuff bestehender und steiler geböschter Kegel.

In manchen Fällen wird der Verlauf von Eruptionen durch Einbrechen von Meer- oder Süßwasser erheblich beeinflußt. Dahin gehört die Eruption des Krakatau und der nicht minder merkwürdige Ausbruch des Tarawera. Mag man sich der von Judd gegebenen Erklärung der ersteren Katastrophe anschließen oder die Verbeecks besser begründet finden, in jedem Falle ist der freie Zutritt des Meerwassers zur Lava als Ursache jenes furchtbaren Ereignisses anzusehen, und dieser wiederum war die Folge der geringen Höhe der Krater über dem Meeresspiegel und

der explosiven Ausweitung derselben bis zum völligen Einsturz. Auch in ihrer ersten Phase dürfte diese Eruption durch das Zusitzen von Meerwasser eine Erhöhung ihrer explosiven Energie erfahren haben. Ebenso kann als feststehend betrachtet werden, daß die eruptive Thätigkeit der großen Rotomahana-Spalte bei der Eruption des Tarawera durch den Einbruch der Wassermassen des Rotomahana und anderer Seen ihren eigentümlichen Charakter erhalten hat. Auch bei dem Ausbruch des Gelungung wird die Ursache der gewaltigen Dampfbildung und der schlammigen Beschaffenheit des Auswurfs in dem großen Kratersee dieses Vulkans gesucht.

Unter gewissen Umständen ist der Barometerstand von merklichem Einfluß auf die Kraterthätigkeit. Sinkt der Luftdruck, so wird dadurch auch der Druck, unter welchem die vulkanischen Gase stehen, um ein Geringes vermindert und die Eruption dadurch erleichtert. Beim Stromboli ist ein solcher Zusammenhang erwiesen, und es ist kein Grund vorhanden, warum geringerer Luftdruck nicht auch bei anderen Vulkanen mit steter, aber mäßiger Thätigkeit die Ausbrüche begünstigen sollte. Bei paroxystischen Ausbrüchen dagegen sind die entwickelten Spannungen und Druckkräfte wohl zu bedeutend, als daß eine kleine Differenz im Luftdruck ein auffallende Wirkung ausüben sollte.

Wir kommen nun zu der Frage nach den Ursachen, von welchen das Eintreten neuer Eruptionen nach Pausen der Ruhe abhängig ist. Jeder größere Ausbruch erschöpft für einige Zeit die Kraft des Vulkans. Nach einer Ruhepause, deren Dauer nicht selten im Verhältnis steht zur Gewalt des folgenden und des vorhergehenden Ausbruchs, hebt sich die Lavasäule im Schlote, bis sie in jene Region gelangt, in welcher der auflastende Druck die Spannung der Gase und Dämpfe nicht mehr bewältigen kann und daher die ersten Explosionen, Erschütterungen und die Ausräumung des Schlundes eintreten. Immer mehr drängt die entlastete Lava aufwärts, und es spielt sich der Ausbruch in den oben wiederholt beschriebenen Formen ab. Nach Ablauf der Eruption sinkt die Lava wieder auf ein tieferes Niveau herab, und wir sehen diesen Cyklus von Aufsteigen, Ausbruch und Sinken der Lavasäule sowohl bei den ruhig arbeitenden Vulkanen nach Art des Kilauea oder Loa, als auch bei den explosiv und paroxystisch thätigen vom Vesuvtypus. Die gewaltige, ausgedehnte Geysirthätigkeit in vielen Vulkangebieten, die massenhaften Spaltenausbrüche Islands gestatten den Schluß, daß sich die Lava nach Ablauf der Eruptionen in verhältnismäßig geringer Tiefe unter der Oberfläche glühend erhält. Durch welche Kraft wird sie nun befähigt, von Zeit zu Zeit die Oberfläche der Erde zu erreichen?

Ziemlich allgemein schreibt man diese belebende Wirkung dem Einfluß des von oben her einsickernden Wassers zu. Speziell hat man früher dem Meerwasser die Hauptrolle hierbei zugewiesen, wahrscheinlich unter dem Eindruck der Thatsache, daß die meisten Vulkane in der Nähe des Meeres liegen. Man kann sich aber leicht überzeugen, daß die Nähe des Meeres oder eines großen Binnensees keineswegs als ein unbedingtes Erfordernis für das Auftreten von Vulkanen zu betrachten ist. Abgesehen von den zentralasiatischen Vulkanen Boschan und dem Vulkan bei Mergen in der Mandschurei, an deren Existenz zu zweifeln zwar kein Grund vorhanden ist, bei denen aber doch endgültige Untersuchungen wünschenswert wären, genügt für die Entscheidung schon eine flüchtige Betrachtung der amerikanischen Vulkane. Die Vulkane der östlichen Reihe von Ecuador, der Cotopaxi, der Antisana ꝛc., sind gegen 30 Meilen vom Meere entfernt und durch eine Bergkette mit Höhen von 6000 m von diesem getrennt; der Tolima und der Mount Hood liegen 40 Meilen vom Ozean. Der Popocatepetl in Mexiko ist 33, der neuentstandene Vulkan bei Ajusco 36, der Punmahuidda in La Plata sogar an 50 Meilen vom Meere entfernt, und in ebenso bedeutenden Abständen vom Ozean liegen manche der Vulkane in Peru und Bolivia. Der Krater am Uinkaret-Plateau in Arizona ist gar 70 Meilen vom Meere entfernt. Es sind das immerhin schon Verhältnisse, als ob man einen bei Wien

oder Konstanz gelegenen Vulkan mit dem Mittelländischen Meere, einen solchen bei Gotha mit der Nordsee in Verbindung bringen wollte. Diese Thatsachen genügen, um zu erkennen, daß die Nähe des Ozeans keine unbedingte Notwendigkeit für das Auftreten von Vulkanen ist, wenigstens nicht in dem Sinne, daß der direkte Zutritt des Meerwassers zu dem unterirdischen Herde vorausgesetzt werden müßte. Trotzdem aber bleibt die Thatsache bestehen, daß die große Mehrzahl der Vulkane in unmittelbarer Nähe großer Wasserbecken steht, und daß ebenso für viele erloschene Feuerberge, die im Inlande liegen, entweder bewiesen oder doch wahrscheinlich gemacht ist, daß zur Zeit ihrer Ausbrüche entweder das Meer zu ihnen hinreichte oder große Binnenseen in ihrer Nähe waren. Diese Thatsache beruht nicht auf einem zufälligen Zusammentreffen, es besteht, wie wir sehen werden, ein Zusammenhang, aber ein solcher von ganz anderer Art.

Für die Annahme, daß die Hauptmasse der Gase und Dämpfe bei den Eruptionen dem Meerwasser entstammen, hat man angeführt, daß die chemische Zusammensetzung dieser Gase mit der des Meerwassers und seiner Salze übereinstimme; allein dies ist vollkommen falsch. In erster Linie bleiben die großen Mengen von Kohlensäure, welche ausströmen, unerklärt. Ebenso verhält es sich mit der wenigstens an einigen Punkten in Massen auftretenden Borsäure, und der Versuch, das Auftreten von Kupfer, Blei ꝛc. unter den Sublimationsprodukten auf die Spuren dieser Stoffe im Meerwasser zurückzuführen, ist wohl ein durchaus verfehlter. Auf der anderen Seite sind Jod und Brom im Meerwasser in weit stärkerem Maße vertreten, spielen aber in den Sublimationsprodukten gar keine Rolle.

Mit dieser Ansicht verbindet sich aber noch eine andere unrichtige und unklare Vorstellung. Es ist offenbar gar kein Grund für die Annahme vorhanden, daß gerade unter dem Meere so unverhältnismäßig viel Wasser in die Tiefe dringe; man darf sich doch nicht vorstellen, daß am Meeresboden überall Öffnungen vorhanden sind, welche das Wasser in Menge nach abwärts führen. Man kann vielmehr annehmen, daß in einer aus klüftigem Kalk zusammengesetzten, nicht eben regenarmen Gegend mehr Wasser in die Tiefe sickert als im Meere, wo die nach abwärts führenden Spalten weit eher durch das feine sich ablagernde Sediment verlegt werden. Wenn wirklich unter dem Meere eine so intensive Zirkulation von Salzwasser stattfände, so wäre es gar nicht denkbar, daß auf manchen sehr kleinen Inseln Quellen von süßem Wasser hervorbrechen, die offenbar vom naheliegenden Festland aus gespeist werden. Es soll nicht bestritten werden, daß unter geeigneten Umständen Meerwasser ebensogut wie Süßwasser zur Lava dringen und von ihr aufgenommen werden kann, aber eine tiefgreifende und vor allem eine allgemeine Wirkung als Verursacher der Eruptionen kann dem Meerwasser nicht zugeschrieben werden. Selbst bei manchen Vulkanen, die mitten im Meere gelegen sind, scheint die Bedeutung des Meerwassers in dieser Richtung keine beträchtliche zu sein, wie z. B. auf Hawai. Dana hat nachgewiesen, daß die weit überwiegende Mehrzahl der Ausbrüche (7 von 8) in die Regenzeit fällt, in welcher der Boden tief hinab von atmosphärischer Feuchtigkeit durchtränkt ist, und es spricht daher diese merkwürdige Thatsache sowohl für den Ausbrüche begünstigenden Einfluß der Bergfeuchtigkeit wie auch für die überwiegende Bedeutung des infiltrierenden atmosphärischen Wassers gegenüber dem ozeanischen.

Man nimmt also an, daß ein konstanter Zufluß von Wasser, beziehungsweise in größerer Tiefe von Dampf und Gasen zur geschmolzenen Lava stattfinde. Infolge des allseitigen, enorm hohen Druckes kann dasselbe nicht entweichen, es wird von der Lava absorbiert und darin aufgespeichert. Auf diese Weise muß eine langsame Vermehrung der Dampfspannung eintreten, bis der auflastende Druck nicht mehr widerstehen kann und die Aufwärtsbewegung, Eruption und Entlastung erfolgen muß. So stellen sich die vulkanischen Ausbrüche als eine den Geysirn analoge Erscheinung dar, nur sind die Perioden der Ruhe bei Vulkanen verschieden lang, weil nach

jeder Eruption die Formen der inneren Kanäle verändert, alte Zuführungswege verlegt, neue geöffnet, kurz neue Bedingungen geschaffen werden.

Bisweilen wird angenommen, daß vermehrter Wasserzufluß in durch Erdbeben neu eröffnete Spalten zum Wiedereintreten von Ausbrüchen führe. Dies wurde z. B. für die Eruption des Krakatau vorausgesetzt. Solche Vorgänge sind offenbar möglich, haben aber keinesfalls eine allgemeine Bedeutung, da viele und zum Teil sehr bedeutende Eruptionen eingetreten sind, ohne daß vorausgehende Erdbeben stattgefunden hätten. Überdies wird es zumeist sehr schwer fallen, Ursache und Wirkung, d. h. die Ausbrüche verursachenden Beben von den als Folge von Ausbrüchen eintretenden zu unterscheiden. Eruptionen, die von heftigen Erschütterungen begleitet sind, könnten durch diese letzteren in der Umgebung vorhandene, aber verlegte Spalten wieder aufreißen und so sekundär vulkanische Erscheinungen anfachen oder erleichtern.

In Fällen, in welchen die Arbeitsleistung der aufsteigenden Lava nur in der Hebung des eigenen Gewichts und der Eröffnung des Schlotes besteht, werden wir in den beschriebenen Vorgängen eine hinreichende und ansprechende Erklärung der vulkanischen Ausbrüche finden. Es läßt sich aber nicht verkennen, daß anderen Ausbrüchen ein bedeutend größerer Aufwand von Arbeit vorangehen mußte. Bei der plinianischen Eruption wurden z. B. Brocken von Apenninenkalk ausgeworfen, es mußte also das Grundgebirge an irgend einer Stelle angerissen sein. Bei der Eruption in der Nähe von Pantellaria hat der fruchtlose Versuch der Lava, die alten, längst verschlossenen Auswege auf der Insel wiederzugewinnen, zur Hebung einer 10 km langen Küstenstrecke geführt, und erst ein Jahr später, im Jahre 1891, gelang nach abermaliger Hebung der Küste der Durchbruch an einer weiter nordwestlich gelegenen submarinen Stelle. So gewaltige Arbeitsleistungen ausschließlich Dämpfen zuzuschreiben, sind wir wohl kaum berechtigt, und es bleibt dahingestellt, ob nicht in solchen Fällen, namentlich beim Wiedererstehen der vulkanischen Thätigkeit nach besonders langer Ruhepause, eine Mitwirkung jener Kräfte in Anspruch zu nehmen ist, die bei der ersten Entstehung der Feuerberge ursprünglich entfaltet sein mußten.

Das Wesen dieser Kräfte zu erkennen, ist offenbar die hauptsächlichste, aber auch schwierigste Aufgabe der Vulkanlehre. Jede Hypothese über die Entstehung der Vulkane muß zunächst mit der Thatsache rechnen, daß die Vulkane an Spalten und an Linien liegen, die mit dem Gebirgsbau auf das engste verknüpft sind. Wir finden die Vulkane auf Schollen, die von Bruchlinien und Spalten durchzogen sind, vorzugsweise aber da, wo am Rande eines sich aufstauenden Gebirges ein Stück Erdrinde in die Tiefe sinkt, ein sogenanntes Senkungsfeld sich bildet, wie solche die Po-Ebene gegenüber den Alpen, die ungarische Ebene bei den Karpathen, das Tyrrhenische Meer an den Apenninen, ferner das Ägäische, das Karibische, das Japanische Meer darstellen. Die Mehrzahl der Vulkane gehört den Rändern solcher Senkungsfelder an; da das Wasser natürlich immer die tiefsten Stellen sucht, so werden solche Senkungsfelder entweder vom Meere überflutet, oder, wenn dieses keinen Zutritt hat, von Binnenseen ausgefüllt, und so kommt es, daß Vulkane so häufig am Rande großer Wasserbecken liegen. Es wurde schon im Vorhergehenden gelegentlich darauf hingewiesen, daß diese Senkungsfelder eine verschiedenartige Form haben: bald sind es langgezogene, schmale Grabensenkungen, wie der große Graben in Ostafrika mit seiner Fortsetzung, dem Roten und dem Toten Meere, bald bogenförmige Senkungszonen, wie im Inneren Islands, oder kesselförmige Einsenkungen, wie im Südwesten Islands, bald ist die Begrenzung derselben unregelmäßig, mannigfaltig, wie am Südrande der Karpathen. Sehr häufig stehen die Vulkane an Längsbrüchen, parallel dem Abbruch großer langgestreckter Kettengebirge; sie erscheinen aber auch an Querbrüchen und in den Scharungszonen der Gebirgsketten. In manchen zerstückten Tafellandschaften haben die Bruchlinien keine regelmäßige Stellung, und dann zeigen auch die Vulkanlinien keine bestimmte Anordnung, wie auf den Plateaulandschaften

des nordamerikanischen Westens. Wir kennen Vulkane in Verbindung mit Hauptbrüchen, aber auch Fälle, wo an den Hauptbrüchen keine, wohl aber an kleineren Nebenbrüchen Vulkane vorkommen. Nicht nur am Rande von Senkungsfeldern, sondern auch auf diesen selbst und ebenso auf der Höhe der benachbarten, nicht gesunkenen Schollen sehen wir eruptive Bildungen durchbrechen, was an dem Bruch im Süden des Erzgebirges und bei dem großen ostafrikanischen Graben besonders deutlich zu erkennen ist. Wie mannigfaltig auch immer im einzelnen die Stellung der Vulkane sein mag, stets ist der Zusammenhang mit Senkungsfeldern und ein gesetzmäßiges Verhalten zu den großen Linien des Gebirgsbaues auf das bestimmteste erkennbar.

Andere für das Problem des Vulkanismus höchst wichtige Erscheinungen haben wir bei der Besprechung der Denudationsreihe der Vulkane kennen gelernt. Die altbekannten Lagergänge, wie die Lakkolithen, ferner jene schmalen Gänge am Uinkaret-Plateau, von welchen so treffend gesagt wurde, sie glichen den Injektionen anatomischer Präparate, die Hebung von Pantellaria, die Erscheinungen am Palándokan, sie alle weisen auf eine gewaltige, unsere Begriffe fast übersteigende Arbeitsleistung hin, welche wir unmöglich jenem Auftrieb zuschreiben können, der den Laven vermöge ihres Dampfgehalts eigen ist. Gewiß waren die Spalten jener Lagergänge und Lakkolithen schon vor der Intrusion vorgebildet, es waren Fugen vorhanden, keinesfalls aber weitklaffende Spalten oder große Hohlräume, denn diese müßten durch den in jenen Tiefen enorm hohen Gebirgsdruck wieder geschlossen worden sein. Die Erweiterung der Spalten und die Hebung mächtiger Gebirgsmassen mußten gleichzeitig mit der Injektion des eruptiven Magmas vorgenommen sein, und so sehen wir uns mit unabweisbarer Notwendigkeit zu dem Schlusse gezwungen, daß die Laven in vielen Fällen nicht einfach in offenen Spalten emporgewirbelt sind, sondern daß sie mit furchtbarer, unwiderstehlicher Gewalt nach oben gepreßt, daß sie wie ein Keil in die Erdkruste getrieben wurden. Während die ältere plutonistische Schule die Laven befähigt glaubte, vermöge eigener, ihnen innewohnender Kraft Gebirge zu heben, wissen wir jetzt, daß Laven nur insoweit eine aktive Kraft ausüben, als es der Spannung ihres Dampfgehalts entspricht. Die Laven treiben nicht, sondern sie werden durch eine auf sie übertragene Kraft getrieben, und hierin liegt ein tiefgreifender, wesentlicher Unterschied gegen die älteren Anschauungen.

Mit Rücksicht auf diese Thatsachen wird man jene Theorie des Vulkanismus nicht für allseitig befriedigend halten können, welche die erste Entstehung der Vulkane ausschließlich dadurch erklärt, daß die Laven infolge ihres Dampfgehalts aus tiefen Spalten emporquellen, gleichgültig, ob man hierbei außer den schon besprochenen Quellen der Durchtränkung auch noch jenen Zuschuß an Dampf und Gasen herbeizieht, welcher durch Ausscheidung infolge fortschreitender Abkühlung des Erdkerns geliefert werden muß, oder nicht. Außerdem hat aber diese Theorie noch mit anderen Schwierigkeiten zu kämpfen. Dem Einwurf, daß das Erdinnere möglicherweise ganz starr und daher nicht eruptionsfähig ist, wurde wohl trefflich begegnet, und zwar durch den Hinweis auf die Notwendigkeit einer sofortigen Schmelzung des verfestigten, aber glühend heißen Magmas in dem Augenblick, in welchem durch das Entstehen der Spalte eine Befreiung des Magmas von dem auflastenden Druck eintritt. Dagegen ist eine andere Schwierigkeit nicht vollständig behoben, die nämlich, welche aus der Periodizität der Ausbrüche erwächst. Hat der Ausfluß des verflüssigten Magmas aus in magmatische Tiefen hinabgehenden Spalten durch den Auftrieb der Gase und Dämpfe einmal begonnen, dann ist schwer zu verstehen, wodurch das Aufhören des Ausflusses bewerkstelligt werden sollte. Es wurde angenommen, daß wahrscheinlich das Eintreten einer sauren, strengflüssigen Förderung die Spalte verlegt und die Eruption beendet habe. Dies könnte wohl bei basischen Vulkanen zutreffen, keinesfalls aber bei solchen, die durch längere Zeit hindurch überhaupt nur saure Laven gefördert haben. Bei den ersteren erwachsen aber wiederum Schwierigkeiten, wenn wir die Wiederaufnahme der eruptiven Thätigkeit

erklären wollen. Es müßte jedesmal eine neue Eröffnung der Hauptspalte vorgenommen werden, was ohne Beben kaum denkbar ist. Die Erfahrung lehrt aber, daß gerade bei den basischen Vulkanen von Hawai neue Ausbrüche häufig ohne vorausgehende Erdbeben eintreten.

Die Lage der Vulkane an Senkungsfeldern und der Zusammenhang ihres Auftretens mit dem Gebirgsbau bilden so hervorspringende Thatsachen, daß wir darin offenbar die entscheidenden Momente für die Erklärung der tieferen Ursachen des Vulkanismus zu suchen haben. Die Bildung der Gebirge kann, wie wir dies weiter unten noch näher besprechen werden, im allgemeinen als wahrscheinliche Folge der zunehmenden Abkühlung der Erde betrachtet werden. Der glühend heiße Erdkern erfährt eine bedeutendere Abkühlung und daher auch stärkere Zusammenziehung als die kühle Erdkruste. In der letzteren müssen dadurch Spannungen hervorgerufen werden, welche zur Bildung der gefalteten Gebirge führen. Es werden aber auch Teile der Kruste nachsinken, um sich dem Kern anzupassen. Jede derartige Senkungsbewegung muß die Tendenz haben, Magma unter bedeutendem Druck nach oben zu pressen, Lavasäulen der Oberfläche näher zu bringen und auch in hohem Niveau nahe der Oberfläche zu erhalten. Sinkende Schollen von großer Ausdehnung mögen wohl im stande sein, jene gewaltigen Druckkräfte auszuüben, als deren Träger sich uns gewisse Eruptivmassen zu erkennen geben. Eine besondere Modifikation dieser Vorgänge, von denen wir uns ja gegenwärtig nur in ganz allgemeinen Zügen eine Vorstellung machen können, ist die Annahme des Einsinkens von Gebirgsschollen über batholithischen Massen, deren Bedeutung im vorhergehenden Abschnitt besprochen ist.

So stellen sich denn die vulkanischen Vorgänge als ein Ergebnis der Abkühlung und Zusammenziehung der Erde dar. Wir dürfen diese Erkenntnis als gesichert betrachten, müssen aber gestehen, daß uns eine tiefere Einsicht in den näheren Zusammenhang und die wahre Folge der Erscheinungen noch verwehrt ist. Trotz der unausgesetzten Bemühungen so vieler ausgezeichneter Forscher birgt der Vulkanismus noch immer viel Rätselhaftes in sich.

Man hat oft versucht, durch Kombination von Erscheinungen, die man als Vorboten von Eruptionen betrachtet, diese vorherzusagen. Als solche Anzeichen gelten Erdbeben, Austrocknen der Brunnen in der Nähe eines Vulkans oder auffallende Veränderungen ihres Wassers, unterirdisches Rollen und Donnern, Aufregung im Meere. Der Stand des Mondes und der Luftdruck werden bisweilen berücksichtigt. Es ist nicht zu bezweifeln, daß ein scharfer und lokalkundiger Beobachter, der einen Vulkan in der Nähe seines Wohnortes genau kennt, manchen Ausbruch voraussehen wird; aber wie die Erfahrung zeigt, kommt es sehr viel häufiger vor, daß eine angezeigte Eruption nicht eintritt, und bisweilen stellt sich auch eine Katastrophe ganz überraschend ein. So war z. B. Palmieri, der ein Menschenalter hindurch den Vesuv beobachtet hat, am Vorabend der gewaltigen Eruption von 1872 vom Observatorium nach Neapel hinabgegangen, weil allen Anzeichen nach für die folgende Nacht keine Erscheinung von Wichtigkeit zu erwarten stand, und wenige Stunden später zerriß der Kegel von oben bis unten, und mächtige Lavamassen stürzten aus dem geborstenen Krater hervor. Man darf wohl behaupten, daß alle Vorhersagungen von Vulkanausbrüchen bis jetzt noch kein anderes Resultat ergeben haben, als die Umwohner in überflüssiger Weise zu beunruhigen.

4. Erdbeben.

Inhalt: Allgemeiner Charakter der Erderschütterungen. — Zahl und Dauer der Erdbeben. — Verbreitung der Erdbeben. — Natur und Wirkung der Stöße. — Seebeben. — Die Sintflut. — Ursachen der Erdbeben. — Untersuchungsmethoden.

Allgemeiner Charakter der Erderschütterungen.

„Das erste Erdbeben, welches wir empfinden", sagt A. von Humboldt, „hinterläßt einen unaussprechlich tiefen und ganz eigentümlichen Eindruck. Was uns dabei so wunderſam ergreift, ist besonders die Enttäuschung von dem eingeborenen Glauben an die Ruhe und Unbeweglichkeit des Starren, der festen Erdschichten. Von früher Kindheit sind wir an den Kontrast zwischen dem beweglichen Element des Wassers und der Unbeweglichkeit des Bodens gewöhnt, auf dem wir stehen. Alle Zeugnisse unserer Sinne haben diesen Glauben befestigt. Wenn nun plötzlich der Boden erbebt, so tritt geheimnisvoll eine unbekannte Naturmacht als das Starre bewegend, als etwas Handelndes auf. Ein Augenblick vernichtet die Illusion des ganzen früheren Lebens. Enttäuscht sind wir über die Ruhe der Natur, wir fühlen uns in den Bereich zerstörender, unbekannter Kräfte versetzt. Man traut gleichsam dem Boden nicht mehr, auf den man tritt."

Vom rein menschlichen Standpunkt aus, der in den Erdbeben eine stets drohende Quelle namenlosen Elendes sieht, sind nur die Folgen, welche die Einwohner der erschütterten Gegend getroffen haben, der Gegenstand der Furcht oder des teilnehmenden Interesses. Der Geolog aber muß tiefer eindringen, er muß unbeirrt von der Vernichtung, die Menschenleben und Menschenwerk getroffen hat, die Naturerscheinung verfolgen und in ihr eine jener Bewegungen zu erlauschen suchen, durch welche die Umgestaltung der Erdoberfläche ihren langsamen, aber stetigen Gang geht; in den Ruinen zerstörter Wohnungen sucht er aus der Richtung der Mauerrisse, aus der Art, wie der Einsturz erfolgt ist, die Direktion und Natur des Stoßes zu ermitteln. So werden auch wir diesen Weg verfolgen und in dem Erdbeben nur die Bewegungserscheinung betrachten, die wir nach Ursache und geologischer Wirkung untersuchen. Die Folgen, die sie für den Menschen, seine Wohnungen ꝛc. mit sich bringt, können wir nur nebenbei berücksichtigen.

Streng genommen ist jede Erschütterung des festen Bodens ein Erdbeben. Eine explodierende Pulvermine, ein Bergsturz, der Zusammenbruch einer abgebauten und verlassenen Strecke in einem Bergwerk, ja ein Lastwagen, der über das Pflaster fährt, sie alle bringen Bewegungen hervor, die sich von dem, was man im engeren Sinne als Erdbeben bezeichnet, nur durch die Ursache, nicht durch die Wirkung unterscheiden. Es lassen sich Fälle vorführen, in welchen die Bewohner einer Stadt überzeugt waren, daß ein leichtes Erdbeben stattgefunden habe, bis nach einiger Zeit die Nachricht eintraf, daß ein entferntes Pulvermagazin in die Luft geflogen sei und den Boden ringsum in wellenförmiges Zittern gebracht habe. Man hat sich jedoch daran gewöhnt, Stöße der letzteren Art nicht unter die Erdbeben zu rechnen, sondern nur solche Erschütterungen, welche durch im Inneren der Erde wirksame, der unmittelbaren Beobachtung entzogene Kräfte hervorgebracht werden, welcher Art diese letzteren auch sein mögen. Es ist an sich klar, daß unter diesen Umständen Erdbeben auf sehr verschiedene Weise hervorgerufen werden können, und es wird die Aufgabe des Geologen sein, in jedem einzelnen Falle die Ursache zu erforschen.

Von sehr verschiedener Intensität ist die Stärke der Stöße. Von den furchtbarsten Erschütterungen, denen auch das solideste Gebäude nicht zu widerstehen vermag, welche in einer Sekunde

eine Stadt zum Trümmerhaufen machen, unter deren Einfluß der Boden wogt wie eine vom Sturm erregte Wasserfläche, welche ungeheure Felsmassen, alles verschüttend, von den Flanken der Berge loslösen und das Meer bis in eine Entfernung von mehr als 1000 geogr. Meilen in Aufregung bringen, von diesen heftigsten Paroxysmen durchläuft die Stärke der Stöße alle Mittelstufen bis zum leisen Erzittern, das nur unter günstigen Verhältnissen, bei vollständiger Ruhe ringsum in den oberen Stockwerken der Gebäude eben noch bemerkt werden kann. Selbst diese leisen Schwankungen, die z. B. in den so stark und oft heimgesuchten Gegenden des westlichen Südamerika gar nicht als echte Erdbeben gelten, sondern als „Tremblores" von den „Terremotos" unterschieden werden, sind wenigstens für unser Gefühl noch bemerkbar; aber außerdem wird die Erdrinde noch von einer sehr viel größeren Anzahl leichter Zuckungen durchlaufen, welche, unseren Sinnen nicht mehr wahrnehmbar, nur durch empfindliche Instrumente zu unserer Kenntnis gelangen. Man hat sie früher für echte Erdbeben unterirdischen Ursprungs gehalten, und an dieser Anschauung hält man in Italien zum Teil auch jetzt noch fest. In Japan dagegen hat Milne die Ansicht ausgesprochen, daß diese überaus leisen Bewegungen, die sogenannten „Tremors", der Hauptsache nach auf die Einwirkung des Windes zurückzuführen und von den Erdbeben zu trennen seien. Eine endgültige Entscheidung über die wahre Natur dieser merkwürdigen Bewegungen der Erdkruste ist heute noch nicht möglich, die Ansichten darüber weichen zu sehr voneinander ab. Wenn auch allseits zugegeben werden dürfte, daß die wechselnde Belastung oder Entlastung des Bodens durch die Luftdruckschwankungen für diese Erscheinung von Bedeutung ist, so ist doch damit über die wahre Natur dieser Tremors nichts ermittelt. Die mikroseismischen Instrumente verzeichnen noch eine dritte Art feinster Erdbewegungen, die sogenannten „Pulsationen" Milnes, welche von diesem Forscher auf Schwereänderungen zurückgeführt werden. Auch diese sind von den echten Erdbeben wohl zu unterscheiden.

Schon früh hatte man beobachtet, daß häufig vor Erdbeben sich der Tierwelt eine eigentümliche Unruhe bemächtigt. Es wird berichtet, daß die Vögel scheu umherflattern, verschiedene Haustiere auffallende Zeichen von Angst erkennen lassen, namentlich auch, daß Maulwürfe, Ratten und andere Bewohner von Erd- oder Mauerlöchern ihre Schlupfwinkel verlassen und sich an die Oberfläche flüchten. Viele dieser Erzählungen mögen nur Ausgeburten der aufgeregten und darum noch mehr als gewöhnlich zu einem gewissen Mystizismus neigenden Phantasie sein; allein solche Beobachtungen sind so zahlreich und rühren, wenigstens teilweise, von so glaubwürdigen Leuten her, daß man an ihrer Richtigkeit nicht ganz zweifeln kann. Natürlich darf man aber dann die Ursache nicht in einer instinktiven Prophetengabe der „unvernünftigen Kreatur" suchen, sondern darin, daß den deutlichen Stößen ein leises Erzittern des Bodens vorausgeht, welches die mit sehr feinen Sinnen begabten Tiere schon beunruhigt.

Zahl und Dauer der Erdbeben.

Die Beobachtung der Erdbeben mittels empfindlicher Instrumente hat, z. B. in Italien und in Japan, gelehrt, daß leichte Erschütterungen ungemein häufig vorkommen. Gewiß würde man ein Gleiches in den meisten oft erschütterten Ländern, wie Griechenland, Kleinasien, Syrien oder an der Westküste von Südamerika, finden, wenn man dort solche Apparate zur Verfügung hätte. Aber selbst, wenn man nur die unmittelbar fühlbaren Stöße berücksichtigt, findet man, daß Erdbeben zu den häufigen und verbreiteten Erscheinungen gehören, und nur der Umstand, daß wir in einer an Erschütterungen, namentlich an solchen etwas heftigerer Art, sehr armen Gegend wohnen, läßt uns in den etwa vorkommenden etwas Außergewöhnliches sehen. Wir genießen das Glück, daß

unsere Stätten auf einer breiten Zone „tiefen Erdfriedens" erbaut sind, die sich von der atlantischen Küste Frankreichs und Englands bis weit nach Asien gegen den Baikalsee erstreckt. Aber selbst in den Ländern der intensivsten Kultur gehen die meisten kleineren Störungen vorüber, ohne allgemein bekannt zu werden, wie sich dies an dem Beispiel der Schweiz zeigt. Nach den jährlich erscheinenden Erdbebenkatalogen von C. Fuchs waren in diesem Lande jährlich einige wenige Bodenschwankungen zu verzeichnen; neuerdings ist aber dort namentlich durch Forel und Heim die Erdbebenbeobachtung systematisch organisiert worden, und gleich für 1880, das erste Jahr, haben diese Beobachtungen nicht weniger als 59 Stöße nachgewiesen, ohne daß es nach der Stärke der Bewegungen als eine besonders intensive Erdbebenperiode bezeichnet werden könnte. Der große Überschuß beruht zum guten Teil darauf, daß eine Menge kleiner, lokaler Bewegungen gemeldet wurden, die vor Bestehen der Organisation nicht zur allgemeinen Kenntnis kamen.

Sind schon in unseren Gegenden die Verhältnisse derart, so werden wir natürlich aus fernen und wenig kultivierten Ländern nur von einem noch sehr viel geringeren Bruchteil der vorkommenden Erschütterungen hören, zumal man in unruhigen Gegenden leichte Stöße, die bei uns schon allgemeines Aufsehen erregen, überhaupt gar nicht beachtet. Das Thal von San Salvador in Zentralamerika heißt bei den Umwohnern seiner zahllosen Erdbeben wegen „Cuscutlan", die Hängematte, aber über die einzelnen Stöße dringt sehr selten eine Nachricht zu uns. Trotzdem wir also nur von einem verschwindend kleinen Teil der Bewegungen erfahren, ja über die Vorkommnisse des Meeresgrundes nur höchst selten Andeutungen erhalten, konnte Kluge für die Zeit von 1850 bis 1857 nicht weniger als 4620 Erderschütterungen verzeichnen. C. Fuchs schreibt: „Vom Jahre 1865 bis zum Schlusse des Jahres 1873 sind mir 1184 verschiedene Erdbeben bekannt geworden, die an 517 verschiedenen Orten stattfanden. In Deutschland, welches entschieden zu den an Erdbeben ärmsten Ländern gehört, ereigneten sich (einschließlich Deutsch-Österreichs) in dieser Periode Erdbeben an 94 verschiedenen Orten. Nur sehr wenige jener 1184 Erdbeben bestanden in einem einzelnen Stoße, viele dauerten wochen- und monatelang, manche sogar mehrere Jahre. An jedem einzelnen Tage dieser neunjährigen Periode sind einzelne oder mehrere Erschütterungen verzeichnet. Vom 1. bis 6. Mai kamen allein in der Stadt Jokohama 123 Erdstöße vor, und als Battang in China am 10. April 1871 zerstört wurde, folgten sich die Erderschütterungen fast ununterbrochen zehn Tage lang, so daß der Boden manchmal wie ein Schiff auf stürmischer See schwankte. Bei einem Erdbeben auf der Insel Hawai, welches 1868 mehrere Monate anhielt, zählte man allein im März mehr als 2000 Erderschütterungen, ohne die schwächeren zu berücksichtigen. Es vergeht demnach kein Tag, keine Stunde ohne Erdbeben; man kann sogar ohne Übertreibung behaupten, daß die Erdoberfläche ununterbrochen in jedem Augenblick an irgend einer Stelle erschüttert wird und in Bewegung begriffen ist."

Es wurde eben erwähnt, daß nur verhältnismäßig *selten ein einziger Stoß* auftritt; *in der Regel folgen mehrere Bewegungen aufeinander*. Häufig wird eine Erdbebenperiode dadurch eingeleitet, daß entweder ganz unvorbereitet oder nach einigen leisen Schwankungen die Haupterschütterung eintritt, die entweder nur aus einem oder aus wenigen rasch aufeinander folgenden Schlägen besteht und meist in der Zeit weniger Sekunden die gewaltigste Zerstörung anrichtet; so war es auf *Chios*, wo am 3. April 1880 nur eine kurze, leichte Erschütterung als Warnung der Katastrophe vorausging. Das verheerende Beben von *Charleston* am 31. August 1886 wurde durch ein 12 Sekunden währendes Geräusch eingeleitet, dann kam der erste Hauptstoß und nach einer leichten Abnahme sogleich der zweite; beide dauerten zusammen nur etwa 50 Sekunden, in den nächsten 8 Sekunden nahm die Intensität bis zum völligen Verschwinden ab. Das ganze, furchtbar zerstörende Ereignis hatte sich in etwa 70 Sekunden abgespielt, und noch plötzlicher kam die Katastrophe in der Gegend von Summerville,

20—30 englische Meilen nordwestlich von Charleston. Zahlreiche kleinere Stöße folgten bis in das nächste Jahr hinein. Beim Erdbeben von Agram trat ganz ohne vorherige Vibration die stärkste Erschütterung ein, eine mehrere Sekunden dauernde Wellenbewegung, welche alles Unheil anrichtete, während die späteren Schwankungen zwar die Bevölkerung in hohem Grade ängstigten, aber nicht mehr die frühere Stärke erreichten und kaum einen Schaden stifteten; ähnlich verhielt es sich in Lissabon 1755 (s. S. 292). Bei dem Erdbeben, welches am 26. März 1812 die Stadt Caracas in Südamerika vernichtete, fanden im Laufe von 20 Sekunden drei gewaltige Konvulsionen statt, welche alles zerstörten. Etwas langsamer wurde das große turkestanische Beben von Wernoje am 9. Juni 1887 eingeleitet; der Hauptstoß ereignete sich um 4 Uhr 35 Minuten nachts, nachdem schon 5 Minuten vorher schwächere Vorstöße eingetreten waren und die Bevölkerung von Wernoje aus dem Schlafe geweckt hatten. Dem Hauptstoß folgten an den nächsten Tagen zahlreiche schwächere Erschütterungen, und diese hielten mit immer geringerer Intensität und in immer größeren Intervallen noch zwei Jahre hindurch an. Nach dem großen Anfangsparoxysmus dauert die Unruhe bei solchen Beben monate- und jahrelang, und die Zahl der einzelnen Bewegungen, welche derartige „Erdbebenschwärme" zusammensetzen, ist dann eine sehr große. Die Erdbeben von Großgerau in Hessen in den Jahren 1869 und 1870, die bekannten Erscheinungen von Visp im Kanton Wallis in der Schweiz, die neuen Erdbeben von Agram, Belluno, Chios, Charleston, Wernoje sind einzelne Beispiele dafür, und man zählt dabei die Menge der Zuckungen nach Tausenden. Ausnahmen von der Regel, daß die ersten Stöße die heftigsten sind, sind nicht häufig, doch kommen sie vor; so war bei dem Erdbeben von 1590 in Niederösterreich ein heftiger Stoß schon am 29. Juni fühlbar, während der stärkste erst im September desselben Jahres folgte.

Wohl der bemerkenswerteste dieser Erdbebenschwärme, über den wir eingehende Nachricht haben, ist derjenige, welcher im Jahre 1870 die Provinz Phokis in Griechenland erschütterte und in fast beispielloser Intensität drei Jahre lang anhielt. Wir verdanken Julius Schmidt einen Bericht, der zwar wegen der Teilnahmslosigkeit der Bevölkerung bei der Sammlung von Nachrichten große Lücken enthält, aber doch ein überaus interessantes Bild von dieser furchtbaren Erscheinung gibt. Er lautet:

„Nur selten finden wir in der Geschichte der Erdbeben so bedeutende Ereignisse verzeichnet, welche, wie die Verwüstung der Provinz Phokis, mit größter Gewalt ihren Anfang nahmen und mit zahllosen, darunter oft mächtigen Erschütterungen länger als drei Jahre anhielten. Viele der bis jetzt erhobenen Fragen der Wissenschaft, viele Experimente hätten zu reichen Ergebnissen führen müssen, wenn auch nur Ein kundiger Beobachter in so langer Zeit gewesen wäre, der sich mit unerschütterlicher Ausdauer dem Studium der wechselvollen, oft gefährlichen Erscheinungen gewidmet hätte. Es ist aber nichts geschehen, und das wenige, was ich selbst vier Tage nach dem Erdbeben in jenem Lande beobachtet und ermittelt habe, ist verschwindend dem gegenüber, was nun unwiederbringlich für die Wissenschaft verloren ist. Am 29. und 30. Juli 1870 erbebte die Insel Lissa, und zugleich nahmen die Erdbeben in Hellas ihren Anfang, zunächst schwach, unbestimmt, doch über große Räume verbreitet. Am Abend des 31. Juli erfolgte eine Erschütterung von ernsterem Charakter, deren Wirkung in Euböa, Attika und Peloponnes nicht besonders auffiel, in Phokis aber den Einwohnern nach Stärke und Dauer einen drohenden Eindruck machte. Aber niemand ließ sich dadurch warnen, denn hier sind die Erdstöße überhaupt sehr häufig, und die Unglücksfälle von 1817 und 1861 waren von den meisten schon längst vergessen. In der darauf folgenden Nacht schliefen sehr viele der Hitze wegen im Freien, und so war der Verlust an Menschenleben nicht so groß, als er zur Winterszeit gewesen wäre. In der Frühe des 1. Augusts, gegen $2^3/_4$ Uhr, begann der furchtbare Vertikalstoß, dem sogleich drehende und schwingende

Bewegungen von größter Heftigkeit folgten, 15—20 Minuten anhaltend, nicht angezeigt durch den Donner, der später seiner großen Häufigkeit wegen kaum noch beachtet wurde. In wenigen Sekunden sanken in Trümmer Itea, Xiropigadi, Chryssо, Delphi, dann Teile von Arachova und Amphissa nebst manchen anderen Orten, isolierten Kirchen und Klöstern, von denen kaum mehr als vorübergehend einmal die Namen genannt wurden. 19 Minuten später erbebte die Erde abermals mächtig, und um 1½ Uhr nachmittags warf ein ungeheurer Stoß den Rest der Trümmer zu Boden und veranlaßte am Parnaß, am Korax und Kirphis unerhörte Bergstürze. Ungezählte Bewegungen der Erde, Donnern und mancherlei Getöse, Tag und Nacht nicht aussetzend, dauerten den ganzen August, September und Oktober. Viele der größeren Stöße erschütterten fast ganz Griechenland und Teile der Türkei; am 25. Oktober, als die meisten Bewohner im Freien waren, um die für sie erschreckende Erscheinung eines roten Nordlichts zu betrachten, erfolgte ein Erdstoß von vernichtender Gewalt, so daß die Stadt Amphissa, die sich am 1. August noch ziemlich gut erhalten hatte, in einem Augenblick zum größten Teil zertrümmert wurde, und daß zu Itea, Delphi 2c. jeder die Bretterhütten verließ, von denen noch viele zerrissen wurden. Alles, was man im Laufe der letzten 10—11 Wochen wieder neu erbaut hatte, ward wieder zerstört. Es kam der Winter, und es mußten die Phokier unter den bedauerlichsten Verhältnissen in Holzverschlägen oder im baufälligen Mauerwerk eine schwere Zeit durchleben, fortwährend erschreckt durch neue bedeutende Erdstöße und ohne Hoffnung, daß die Bebung des Bodens bald aufhören werde. Wie weit die Zerstörungen reichten, wie hoch man den Verlust geschätzt habe, wie viele erschlagen oder verwundet wurden, nichts ist durch Druckberichte hinlänglich bekannt geworden; ich glaube aber, daß im ganzen wohl 100 umkamen und zwar meist am 1. August, denn später war man vorsichtig und auch in den Notwohnungen mehr gesichert.

„Man zählte vom 1. August 1870 bis zum 1. August 1873 nur 35 sehr große Stöße, oder vielmehr nur diese wurden in der Zeitung erwähnt oder mir brieflich mitgeteilt; ich bin aber darüber sicher, daß auf diese Weise kaum der zehnte Teil mir bekannt ward, und daß man für die drei Jahre 300—320 schwere Erdbeben ohne Übertreibung rechnen kann. Hinsichtlich der Häufigkeit der Stöße zeigte sich im zweiten Jahre keine sonderliche Abnahme, doch wurden sie im ganzen schwächer; aber die Felsstürze und Donner gaben denen von 1870 wenig nach. Im Jahre 1871 wagte man noch nicht, steinerne Häuser zu bewohnen. Bis zum Winter 1870 hörte die Unruhe der Erde niemals ganz auf, und im Orte Montlia, zwischen Parnaß und Kirphis, fand man, daß drei Monate lang ein Ei, das man auf eine Metallplatte gelegt hatte, in steter zitternder Bewegung blieb. In den ersten drei Tagen gab es wenigstens in jeder dritten Sekunde ein Erdbeben, so daß täglich gegen 29,000 zu rechnen wären.

„Schon am 1. August hatte die Regierung Maßregeln zum Schutze der Unglücklichen beraten; am 3. August wurde beschlossen, eine Kommission nach Phokis zu senden, um neben anderen Erhebungen auch wissenschaftliche Beobachtungen zu machen; ich verließ mit Professor Christomanos noch an demselben Tage Athen; in der Frühe des 4. Augusts kamen wir nach dem Isthmus von Korinth und um 4 Uhr abends an die Küste von Phokis nach Itea. Da dieser Ort vollständig zertrümmert war und noch keine Zelte da waren, wählte ich mir in Rücksicht auf mögliche Anschwellung der See 200 Schritt östlich von Itea einen 3 oder 4 m hohen Hügel zum Biwak. Solange wir noch auf dem Isthmus, dann im Verlauf des Tages auf dem Meere waren, fühlten wir kein Erdbeben und hörten keine Detonation. Sobald wir Itea nahekamen, hörten wir ungeachtet des lärmenden Dampfers die ersten unterirdischen Donner, und als wir die sehr verwüstete Anlegebrücke betraten, spürten wir Erdbeben in Menge, die indessen ohne besondere Stärke waren. Nach Einrichtung des Biwaks begann ich die erste genauere Beobachtung und ersah dazu den Boden unter einem Feigengebüsch; indes war der Wind noch zu lebhaft, das

Geräusch der großen Blätter des Baumes störte, so daß alle feineren Tonarten und die geringeren Bewegungen der Erde nicht sicher aufgefaßt werden konnten. Unter diesen Verhältnissen zählte ich in 35 Minuten acht Erdbeben und noch mehr Detonationen von sehr mäßiger Stärke und Dauer. Nach Anbruch der Nacht war es nach Verminderung des Windes stiller, und in 10 Minuten zählte ich 16 Detonationen und verschiedene Schwingungen des Bodens. Gegen Mitternacht verabschiedete ich alle überflüssigen Personen und richtete es so ein, daß ich die Nacht allein an der Nordseite des kleinen Hügels zubrachte, um in aller Ruhe die Erdbeben beobachten zu können. In einer Stunde zählte ich 71 Detonationen, von denen mindestens 16 mit deutlichen, zum Teil lebhaften Erdbeben verbunden waren; ich hatte aber den Eindruck, daß viele schwache Bebungen des Bodens doch der Wahrnehmung entzogen wurden, denn das Sausen des schwachen Windes hielt noch immer an, und mancherlei Lärm störte in der Beobachtung.

„Nach 1 Uhr gedachte ich kurze Zeit zu ruhen, um später die Zählungen fortzusetzen; aber kaum hatte ich mich niedergelegt, als um 1 Uhr 27 Minuten 36 Sekunden ein Erdbeben von furchtbarer Gewalt alles ringsum in Schrecken und Bewegung versetzte. Die Luft war ganz still, ein großer, doch weicher, tiefer Donner, ähnlich dem des Marinegeschützes, wenn es aus der Entfernung von $1^1/_2$ Stunde Weges gehört wird, ging wenige Zehnteile einer Sekunde dem mächtigen Vertikalstoß voraus. Wie ein vom Sturm aufgeblähter Teppich schwoll der Boden empor, nicht nach Art einer Sprengung, sondern viel langsamer und trotz der erstaunlichen Wucht gewissermaßen sanft, mehr andrängend als stoßend. Ich fühlte mich in die Höhe geworfen, ohne doch das Gefühl ähnlich raschen Herabsinkens zu haben, da die Geschwindigkeit für diese Art von Bewegung doch nicht groß genug war und es vielleicht 2—3 Sekunden dauerte. Ein Nachhall mit schwachen Vibrationen erfüllte die nächsten 8—10 Sekunden. Indem ich mich rasch faßte und aufstand, Blick und Gedanken besorgt auf die nahe See gerichtet, erhielt ich jetzt den vollen Eindruck von den viel umfassenden Wirkungen des Erdbebens. In dem Augenblick des anstürmenden Donners und des Stoßes erscholl aus Westen das Poltern und Rasseln der Trümmer, die vielfach in dem nahen Itea durcheinander stürzten, vereint mit dem Aufschrei der Bevölkerung am Strande, das Gebell der Hunde, das kurze, scharfe Aufrauschen der See am nahen Ufer, wo sie kaum 2 m weit die normale Linie überschritt. Dann einige Sekunden Stille, und es kam von Osten der Schall vom Sturze gewaltiger Felsmassen, die sich allseitig von den Höhen des Kirphis loslösten, in Strömen und Schutthalden sich donnernd durch die Thalschluchten oder auf schroffen Wänden fortwälzten und mit ungleichem Tone auf die Ebene oder auf die Fläche der See herabfuhren. Als nach Maßgabe der Entfernungen das sehr mannigfaltige Getöse zu Ende ging, hörte ich den fernen schwächeren und tiefen Donner jener Felsmassen, die vom Parnaß herabkamen, und zuletzt vernahm ich von Westen und Nordwesten aus, vom Korax und von den Höhen um Amphissa, das Getöse der Felsblöcke sehr verschieden von dem inzwischen erneuten Donner der nachfolgenden Erdbeben. Mitten in dem Aufruhr der großen Nachtszene hörte ich in der Nähe das klappernde Geräusch der aneinander schlagenden Blätter des Feigenbaumes, das Herabfallen der Heuschrecken und anderer Insekten von den trockenen Pflanzen, den ängstlichen Lauf nächtlicher Tiere, die erschreckt ihre Schlupfwinkel verlassen hatten. . . .

„Am 6. August ritten wir früh bei völlig klarer, ruhiger Luft nach Delphi; als es auf beschwerlichem Wege stark bergauf ging, stieg ich ab, um im Falle von Felsstürzen mich freier bewegen zu können. Nach 7 Uhr hielten wir im südlichen Teil des Ortes, der in gänzlicher Vernichtung am Boden lag; nur einzelne Mauerreste standen noch, und es hatte sich selbst der kleine Turm einer Kirche aufrecht erhalten. Gegen Osten lagen Kloster und Kirche der Panagia in Trümmern unter den Ölbäumen, dazwischen sehr große Felsblöcke, die aus der Nähe herabgerollt waren und uralte Bäume zerschmettert und entwurzelt hatten. Schutt, Felsstücke, Ölbäume und

Pappeln lagen durcheinander in der steilen Schlucht, die neben dem Kloster im Thale des Pleistos mündet. Der Kastalischen Quelle nahe, westlich, waren aus der glatten Wand der seit alters berühmten Phädriaden riesige Felsprismen von 300—400 Fuß Höhe und 60—80 Fuß Dicke herausgebrochen und gegen Süden auf das freie Feld niedergeschlagen, welches Delphi von der Kastalischen Quelle trennt. Diese selbst war nun von Blockwällen umgeben, deren Gestein von der östlichen Höhe herabkam; teilweise verschüttet, war sie von Süden her erst sichtbar, wenn man den Trümmerwall überstiegen hatte. In der Meinung, daß diese ehrwürdige Stätte bald den Blicken entzogen werde, wagten wir es ungeachtet der Donner und Erdbeben, sie nochmals in der Nähe zu betrachten. Nach Ablesung des Thermometers und der Wassertemperatur ward schleunigst der Rückweg angetreten. Die größte Furcht hatten wir an den steilen, kolossalen Felswänden vor dem fallenden Gestein aus der Höhe. . . .

„Nimmt man die Aussage wörtlich, daß in den drei ersten Tagen in jeder dritten Sekunde ein Erdbeben erfolgte, so wären es deren über 86,000 gewesen. Da ich vier Tage später zu Itea nach Zählungen fand, daß in 24 Stunden mindestens 1700—2000 Detonationen und Stöße fühlbar waren, und da es bekannt ist, daß bis zum Winter die Erde nie ganz zur Ruhe kam, so würde man mit Berücksichtigung derjenigen feinsten Bewegungen und Schallwirkungen, die nachts noch deutlich aufgefaßt werden können, für die letzten fünf Monate von 1870 gegen 500,000 Erschütterungen und Detonationen annehmen dürfen, letztere drei- bis viermal häufiger als die ersteren. Da nun das Erdbeben $3^1/_2$ Jahre anhielt, so läßt sich ohne Übertreibung sagen, daß am Epizentrum mindestens $^1/_2$—$^3/_4$ Million Erdbebenphänomene auftraten, darunter etwa 300 große und gefährliche mit Zerstörungen, etwa 50,000 Erdstöße, die man nicht beachtete, auf welche $^1/_4$ Million Detonationen zu rechnen sind. Das übrige bestand in den feinen Vibrationen und Tönen, die zumeist nur nachts wahrgenommen werden."

Wir haben hier einen der furchtbarsten Erdbebenschwärme kennen gelernt, die je vorgekommen sind. Der Flächenraum des beschädigten Gebiets wird von Schmidt auf 28 Quadratmeilen geschätzt, das Areal vollständiger Zerstörung auf 7 Quadratmeilen, während ein großer Flächenraum, der ganz Griechenland, Thessalien und die Jonischen Inseln umfaßt, die Erschütterungen wenigstens fühlte. Mehrere Jahre nachher ließ das verwüstete Gebiet noch Spuren dieses verheerenden Erdbebens erkennen; in Amphissa fiel die Zahl der neuen Gebäude auf, in Itea (Scala di Salona) hatte man es nicht gewagt, die Häuser aus Stein wieder aufzubauen, der ganze Ort bestand aus niedrigen Hütten, die aus ungebrannten Lehmziegeln zusammengefügt waren. Im Gebirge aber kann man sich überzeugen, daß in früher Vorzeit hier noch viel heftigere Erdbeben gehaust haben müssen, denn trotz ihrer kolossalen Entwickelung bleiben doch die von Schmidt geschilderten Felsstürze sehr bescheiden gegen jene zurück, deren Spuren aus alter Zeit der Geolog staunend verfolgt. In der Nähe des Bergdorfes Sigditza, nördlich von Amphissa, trifft man einen ansehnlichen, schroffen, mehrere hundert Fuß hohen Kalkberg, der nach der Lagerung seiner Schichten zu dem sonstigen Bau der Gegend nicht zu passen scheint und über seine Bedeutung in Zweifel läßt, bis man sich überzeugt, daß er nur eine riesige Scholle bildet, die sich dereinst von dem nahen Korax (Giona) losgelöst hatte. Wird doch auch überliefert, daß gallische Kriegerschwärme, die im Jahre 279 v. Chr. das delphische Heiligtum plündern wollten, durch den Absturz gewaltiger Felsmassen von den Höhen des Parnasses geschreckt worden seien.

Glücklicherweise treten nicht alle länger andauernden Erdbebenschwärme in so furchtbarer Stärke auf. Häufig beginnt an irgend einem Punkte eine Periode der Schwankungen, die zwar genügen, um in einer sonst ruhigen Gegend die Einwohner zu ängstigen und sie das Nachfolgen schlimmerer Ereignisse fürchten zu lassen, die aber im Vergleich mit den eben geschilderten Katastrophen kaum nennenswert sind und keinen erheblichen Schaden hervorrufen. In diese Kategorie

gehört z. B. jene lange Reihe von Vibrationen, die sich in den Jahren 1869—73 am Mittelrhein spüren ließen und ihren Mittelpunkt in Großgerau, in der Nähe von Darmstadt, hatten. Die ersten Erschütterungen wurden am 12. Januar 1869 bemerkt, blieben aber bis Ende Oktober unbedeutend. Am 30. jenes Monats verstärkten sie sich, wurden häufiger und dauerten bis Januar 1870 an; von da trat wieder eine Abschwächung ein, doch wurden noch im Jahre 1873 einzelne Schwankungen verspürt. In der Höhezeit der Unruhe waren die einzelnen Bewegungen sehr häufig, so daß man z. B. am 31. Oktober 1869 nicht weniger als 53 Stöße notierte. Ihre Stärke war aber keine sehr erhebliche, nur wenige unter ihnen, am 31. Oktober und am 2. November, reichten hin, um einzelne Schornsteine umzustürzen.

Das Erdbeben von Agram, das weit ernsterer Natur war, begann, ohne daß vorhergehende leise Schwankungen bemerkt worden wären, am 9. November 1880 um 7 Uhr 33 Minuten 53 Sekunden morgens mit einem sehr heftigen Stoße, der zahlreiche Gebäude ganz oder teilweise niederwarf; von da bis zum 21. Januar 1882 wurden 200 Erschütterungen gezählt, abgesehen von den bisweilen erfolgenden kaum merklichen Zuckungen, und auch seitdem haben sich Erdbeben von Zeit zu Zeit wiederholt.

Kaum mehr in den Bereich der „Schwärme" zu rechnen sind jene Fälle, in denen einem stärkeren Hauptstoß im Verlauf der nächsten Tage oder Wochen einige schwächere Erschütterungen folgen. Sie führen uns, da eine wirklich scharfe Trennung der Kategorien ganz undenkbar ist, allmählich zu den Einzelbeben, die nur aus einem oder wenigen durch kurze Intervalle getrennten Stößen bestehen. In diese letztere Kategorie gehört z. B. das durch das Werk C. von Seebachs bekannte mitteldeutsche Erdbeben vom 6. März 1872, bei welchem während einer 5—8 Sekunden dauernden wellenförmigen Bewegung zwei stärkere Stöße zu Anfang und zu Ende verspürt wurden.

Die bekannteste und großartigste Erscheinung dieser Art ist die furchtbare Katastrophe, welche am 1. November 1755 über Lissabon hereinbrach. Ganz Europa wurde durch sie in die höchste Aufregung versetzt, und alle Gemüter waren tief erschüttert. Neben vielen anderen Berichten jener Zeit gibt uns ein beredtes Zeugnis von diesem gewaltigen Naturereignis ein unter dem frischen Eindruck der Katastrophe geschriebener Brief eines Ungenannten an einen „Tit. Herrn Rathsherrn Ruffier, vornehmen Handelsmann zu Straßburg". Er lautet:

„Es haben Euer Excellenz bereits aus einem Schreiben von voriger Post den betrübten Umstand und das große Unglück ersehen, so allhier passiret. Der liebe und barmherzige Gott sei uns allen gnädig und barmherzig! Gegenwärtiges ergehet, um Euer Excellenz eine umständliche Nachricht zu ertheilen. Es war den ersten dieses, da ich des Morgens einige Verkaufrechnung auszoge auf unserem Contor, und nichts als Hosen, Strümpfe und Pantoffeln anhatte und einen alten Schlafrock; damit aber keinen Heller noch Pfennig: da hörte ich auf einmal ein entsetzliches Prasseln; ich loff hinaus zu sehen, was das wäre, und kam glücklich mit den übrigen in unsern Hof, allwo wir fast die ganze Stadt übersehen können. O ewiger Gott! wie betrübt war das anzusehen! Die Erde ging Ellen hoch auf und nieder. Die Häuser aller Orten fielen mit einem entsetzlichen Prasseln alle über einander. Die Carmeliter, so auf dem Berg über uns wohnten, Kirch und Kloster, so sehr groß, ging hin und her, so daß wir besorgten, alle Augenblick davon bedeckt oder von der Erde lebendig verschlungen zu werden. Es war die Sonne so verfinstert, daß wir einander nicht sahen. Wir glaubten und waren gänzlich beredt, daß das letzte Gericht herbei kommen. Diese entsetzliche Bewegung dauerte was über eine achtel Stunde; alsdann war es wieder ein wenig stille; da wir unsere Flucht nahmen, ein jeder in seinen Nachtkleidern, wie oben beschrieben, nicht weit von uns auf den großen Platz, allwo wir über die zerfallene Häuser und Menschen mit größter Lebensgefahr angelangt. Wir blieben allda etwan 3 Stunden und

waren über 4000 Menschen schon versammelt, einige in bloßen Hembdern, andere ganz nackend; der Tod auf allen Gesichtern gemalt; mit unzähligen vielen Blessirten, welche alle um Gottes Barmherzigkeit anruften, und ware das Geschrey erbärmlich. Einige Geistliche kamen herbey, sprachen zu und gaben die Generalabsolution, welches einigen Trost gabe; und empfing jeder männiglich solche Absolution mit Eifer und gläubigem Herzen. Hier kam wieder die Erdbebung, so ungefähr noch eine achtel Stunde dauerte; darauf war etwann eine Stunde Ruh, bis das Gerücht von der See kam, daß das Wasser über alle Maßen gestiegen und wenn wir nicht flüchteten, wir untergehen würden. Gedenken Euer Excellenz, wie es uns hier zu Muthe war. Alle Gassen waren verstopft durch den Umfall der Häuser; jedennoch wagte ich Alles mit etlichen Freunden; wir klammerten über die Steine und todte Menschen; und solches über eine Viertelstunde lang, allwo wir endlich, dem Höchsten zu Dank! unter vieler Todesgefahr auf das freie Feld gerathen. Ich habe viele Todesnoth ausgestanden. Gott sei gelobt! daß er mir bis anhero geholfen. Es wird mir diese Strafe des Allmächtigen, die wir mit unseren Sünden verdient, nimmer aus dem Gedächtniß kommen; auch werde meine Seligkeit mit mehrerm Ernst zu suchen wissen. Wir sind die ersten Nächte unter freiem Himmel fast ganz nackend und bloß gelegen; nunmehr haben wir eine Zelte, die uns wenigstens den Winter durch, ein wenig vor Regen und Frost befreyet. Dem lieben Gott sei für seine gnädige gütige Vorsorge gedankt! Den ersten Abend gegen 11 Uhren kam Feuer an allen Orten aus; und was noch übrig vom Erdbeben, wurde durch die Flammen verzehrt. Alle Gebäude und Mauern, so noch stehen geblieben, müssen nunmehro von unserer Citadelle, so mitten in der Stadt auf einem Berge liegt, abcanonieret werden, damit von diesen, weil Alles baufällig, nicht etwann die Menschen, so daran zu arbeiten beordert werden, nicht auch noch erschlagen werden. Also ist die schöne große Stadt, so die reichste in Europa, und bei 500,000 Menschen in sich hatte, zu einem Steinhaufen geworden. Gott erbarme sich über dieses große Elend, so wir verdient, und womit er uns gestrafet! Der Palast, wo so viele und entsezliche Precioſen, ist verbrennet. Unser Zollhaus, mit vielen Millionen Waaren aus allen Orten der Welt ist theils verbrennet, theils mit einem großen Platz in den See gesunken. Die mehreste Schiffe, deren wir bei 300 in unserem Haven hatten, sind ankerlos worden, einige versunken, andere beschädiget. Ein Holländisches, der Capitän Namens Peter Roclos, ist in die Stadt geschmissen worden, und stuhnde das Schiff auf trocknem Lande; jedoch hat solches der liebe Gott wunderlich erhalten, bis daß eine andere Fluthe kam, und das Schiff vom trocknen wieder wegnahme, und ohne Unglück in die See setzte: Es wiegt ein solches Schiff 18 bis 20,000 Centner. Die Capitäns, so von allen Orten herkamen, haben es bis 60 Meilen von hier auf eine so starke Weise erfahren; und können nicht von Wunder gnug sagen, wie sie erhalten worden. Ihro Majestät der König logiren selbst, uns zur Hülfe und Trost, auf dem Felde mit Zelten. Unsere schöne Kirchen, dergleichen in Rom nicht prächtiger noch größer, sammt allen Klöstern sind zerstört, worin man bei 20,000 Geistliche rechnet, davon bey nahe die Hälfte unter dem Ruin geblieben. Wie viele tausend Menschen hat man unter dem Ruine hören rufen und schreyen, ohne daß man ihnen konnte zu Hülfe kommen, so daß diese noch lebende Unglückselige verbrennen mußten. Mein Gott, das Elend ist zu groß, und erwecket in der ganzen Christenheit Mitleiden; denn wer sich an solchem Exempel nicht spiegeln will, muß kein Christ. ja kein Mensch seyn. Hätte unser König nicht so väterliche Vorsorge angewendet, müßten wir noch gar Hunger sterben. Seine Mildthätigkeit aber gehet so weit, daß er Brod und Fleisch umsonst austheilen lassen: Er vergießet eben so viele Thränen unter uns Elenden, als alle Unterthanen. Er nimmt Theil an allem unserem Schmerzen. Gott erhalte Ihn, und seine ganze Familie. Er erzeigte sich als ein recht barmherziger Vater, so unser aller Trost ist. Gott segne Ihn. Anjezo sucht man hier zu Lande nichts zu kaufen als Brod, den Hunger zu stillen, und grob Leinwand, sich zu bedecken;

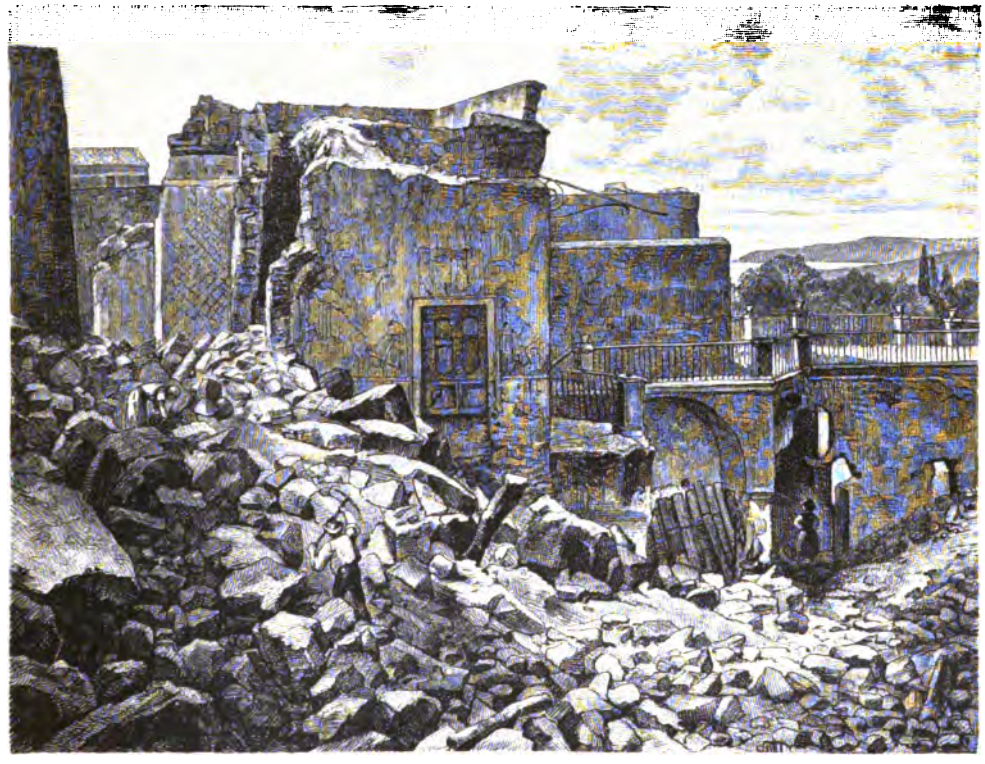
und muß dieses Unglück große Folgen nach sich ziehen: Dann der reicheſten Häuſer in der Noordt müſſen zu trümmern gehen. Gott sei denen gnädig, die es betrifft! Von Cadix habe Nachricht, daß es allda ebenſo arg beſchaffen, als hier. Euer Excellenz ſehen ſich wohl vor, mit wem ſie zu thun; denn es werden dieſe zwo Städte in Europa große Confuſion im Handel machen. Von Gibraltar iſt auch Nachricht, daß die Werker, ſo von lauter Felſen, alle ruinirt. Das ganze Land bis durch Spanien hat gelitten, doch nicht ſo viel als hier, aber das Königreich Algarbien noch mehr als hier. Liſſabonn den 18. Novembr 1755."

Nicht viel weniger entſetzlich ſind die Wirkungen der jüngſten Erdbeben von Caſamicciola auf Iſchia. Über das erſte dieſer Erdbeben berichtet G. vom Rath: „Das Erdbeben vom 4. März (1881) um 1 Uhr 5 Minuten nachmittags wurde auf der ganzen Inſel Iſchia gefühlt ſowie auf Vivara und Ventotene. Vom nahen Feſtland liegt indes nicht eine einzige Angabe vor. Das durch Beſchädigung und Zertrümmerung der Gebäude heimgeſuchte Gebiet nimmt eine ovale Fläche ein, in der man wieder eine innere Ellipſe ſtärkſter Verheerung unterſcheiden kann. Dieſe zentrale Ellipſe mißt von Oſten nach Weſten 1900 m bei einer Breite von 550 m. Das Dorf Caſamicciola fällt faſt ſeiner ganzen Ausdehnung nach in die öſtliche Hälfte dieſes Ovales. In der äußeren Zone, welche bei einer Breite von $2^1/_2$ km einen Längendurchmeſſer von $3^1/_2$ km beſitzt, ſind noch Beſchädigungen der Gebäude, wie Riſſe und Spalten, vorgekommen, doch keine vollſtändigen Verwüſtungen. In dem inneren Bezirk muß das Erdbeben furchtbare Gewalt gehabt haben; die Verheerungen wurden durch einen Vertikalſtoß bewirkt, der ohne alle Vorbereitungen plötzlich eintrat. Die Gebäude, aus dem lockeren Tuff des Monte Epomeo gebaut, beſitzen flache Dächer, welche in einem Augenblick zu Boden ſtürzten und alles Lebendige unter den Trümmern begruben; wäre die Kataſtrophe in der Nacht erfolgt, ſo wären faſt alle Bewohner des Dorfes getötet worden. Auch ſo war die Zahl der Opfer noch ſehr groß: 118 Tote und 70 Schwerverwundete, von denen noch manche ihren Leiden erlagen. Bemerkenswert iſt das Erdbeben wegen ſeiner momentanen Wirkung; bei ähnlichen Ereigniſſen konnten bisweilen die Menſchen eine ſchützende Thorwölbung oder auch das Freie gewinnen und ſich retten. Nicht ſo bei dem Stoße von Caſamicciola am 4. März; die Menſchen wurden genau an der Stelle erſchlagen, wo ſie ſtanden und ſaßen. Geführt von dem Kommandierenden der Genietruppen, welche zur Ausgrabung der Leichen, zur Wegräumung der Schuttmaſſen hergeſandt waren, durchwanderte ich die Ruinenſtätte. Eins der erſten Zeugniſſe von der furchtbaren Gewalt des Stoßes gaben zwei gemauerte vierſeitige Thorpfeiler der Villa Barbareſi, welche $1^1/_2$ m über die Gartenmauer hervorragten. In der Höhe der Mauer waren die Pfeiler horizontal abgebrochen, die getrennte Maſſe des einen war unter gleichzeitiger Drehung etwas verſchoben, das losgelöſte Stück des anderen Pfeilers war nochmals zertrümmert und herabgeſtürzt. Überall fanden wir die furchtbarſten Verwüſtungen; die Kirche Purgatorio war eingeſtürzt, die älteren Häuſer teils Trümmerhaufen, teils einſturzdrohende Ruinen; daß die ſehr ſchlechte Bauart an dem vollſtändigen Zuſammenbruch ſo vieler Gebäude mitſchuldig war, das beweiſen die beſſer gebauten neuen Häuſer, ſo die beiden Sentinellen und das Hôtel Bellevue, welche zwar beſchädigt, aber nicht eingeſtürzt ſind."

Unvergleichlich ſtärker und fürchterlicher in ſeinen Folgen war das neueſte Erdbeben auf Iſchia, welches am 28. Juli 1883 die Inſel heimſuchte (ſ. Abbildung, S. 295). Während die Kataſtrophe von 1881 kaum ein Viertel der Häuſer von Caſamicciola vernichtet hatte, blieb diesmal nur eins unverletzt ſtehen, und auch eine Reihe anderer Ortſchaften: Lacco, Forio, Panza, Fontana ꝛc., erlitten ein ähnliches Schickſal; nur der Hauptort Iſchia kam mit geringem Schaden davon. Von 6616 Häuſern, welche die Inſel mit Ausſchluß der Stadt Iſchia zählte, ſtürzten 2278 ein, 3616 wurden beſchädigt, und nur 722 blieben unverſehrt. Die Zahl der Toten

wird von den offiziellen Berichten auf 2313, die der Verwundeten auf 762 angegeben, während die ersten Nachrichten von 5000 Toten und 6—7000 Verwundeten wissen wollten. Der Verlust an Menschenleben war ein verhältnismäßig großer, weil der Stoß bei Nacht eintrat, als die ganze Einwohnerschaft und die vielen anwesenden Badegäste fast alle unter Dach waren.

Ein Unterschied gegen die Katastrophe von 1881 machte sich insofern geltend, als der Hauptstoß von 1883 nicht ganz unvorbereitet kam; etwa eine Woche vorher wurden leichte Bewegungen bemerkt, und auf dem Monte Cito, ganz nahe bei Casamicciola, traten einige bis dahin sehr schwache Fumarolen in stärkere Thätigkeit, und die Temperatur der warmen Quellen von Casamicciola erhöhte sich. Auf die Angabe, daß diese Quellen auch reichlicher geflossen seien, dürfte



Eingestürzte Häuser in Casamicciola nach dem Erdbeben vom Jahre 1883. (Nach einer Photographie.) Vgl. Text, S. 294.

dagegen kein Wert zu legen sein. Der Hauptstoß erfolgte um 9 Uhr 25 Minuten abends und wurde von einer leichten Erschütterung mit unterirdischem Geräusch angekündigt. Die Haupterschütterung am 28. Juli bestand aus einem äußerst heftigen, von unten nach oben gerichteten senkrechten Stoße, der verschiedene Gegenstände hoch in die Luft schnellte und von mächtigem unterirdischen Donner begleitet war. In einem Moment war das Werk der Vernichtung vollendet; es folgte noch eine 15—20 Sekunden dauernde schwächere Wellenbewegung, dann war alles ruhig. Von 9½ Uhr bis Mitternacht wurden noch 6 und von da an bis zum 28. Juli 15 weitere Bewegungen beobachtet. Am 29. Juli traten östlich von Casamicciola, gegen Castiglione, zahlreiche Fumarolen und Dampfstrahlen auf, am 3. August war wieder ein stärkerer Stoß fühlbar und etwa 30 weitere Erschütterungen im Laufe des Augusts und Septembers. Die Verbreitung des Erdbebens war eine größere als im Jahre 1881: die ganze Insel wurde davon betroffen; von außerhalb dagegen, vom Festland, liegt keine sichere Meldung über eine deutlich bemerkbare

Erschütterung vor, ja selbst die überaus feinen Instrumente des Vesuvobservatoriums zeigten keine Bewegung an, während allerdings in weiter Entfernung die Seismographen von Rom, Velletri, Florenz und Fermo leise Zuckungen notierten.

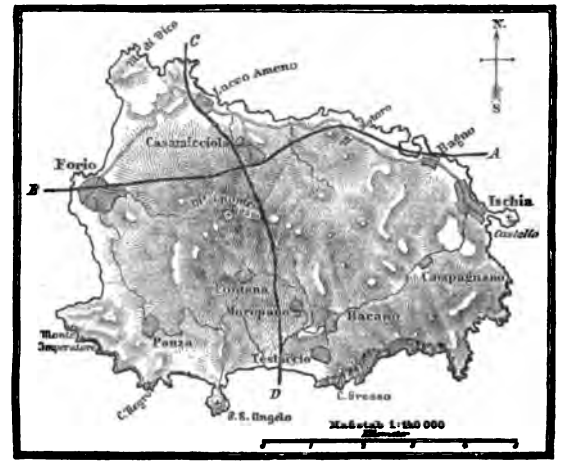
Die Frage nach der Ursache des Erdbebens von Casamicciola ist viel besprochen worden, und die Ansichten hierüber waren ebenso geteilt wie über das künftige Schicksal der Unglücksstätte. Palmieri, der bekannte Vorstand des Vesuvobservatoriums, hat die Katastrophe mit dem Einsturz von Hohlräumen in Verbindung gebracht; er schrieb die Bildung derselben hauptsächlich dem unregelmäßigen Bergbau zu, welcher zur Ausbeutung der Thonlager unterhalb Casamicciola seit alters her betrieben worden ist. In zweiter Linie dachte er, wie auch von Lasaulx, an die Entstehung von Hohlräumen durch die heißen Quellen der Insel, welche unterirdische Auswaschungen hervorbrachten. Als Beweise dafür wurden die sehr geringe Ausdehnung und das plötzliche, durchaus unvermittelte Eintreten der Hauptstöße angeführt, welche bei anderen Erdbeben nie vorkommen sollen; aber mit vollem Rechte wird gegen diese Auffassung der Umstand geltend gemacht, daß sich das Wasser der Quellen erhitzte, daß sich eine Fumarole neu belebte, und nach der Beobachtung des Kapitäns Serpieri sogar der Boden stellenweise so heiß war, daß man einen Fuß unter der Oberfläche die Hand nicht auf die Erde legen konnte. Eine Untersuchung der tiefen Thongruben, welche von Baldacci gegen Ende August vorgenommen wurde, ergab ferner, daß dieselben, soweit ihre Mündung zugänglich war, im Inneren keinerlei Einsturzerscheinungen darboten. Überhaupt erwiesen sich die Ausgrabungen nicht als weit ausgedehnte Hohlräume, von denen ein Sturz zu erwarten gewesen wäre, sondern als enge, unregelmäßig gewundene Gänge, die, wenn einmal verlassen, sich im Laufe der Zeit wahrscheinlich infolge der Plastizität des Thons von selbst wieder zusammenschließen.

Von anderer Seite, namentlich von de' Rossi, Serpieri und Sueß, wurde darauf hingewiesen, daß weder das plötzliche Eintreten der Stöße noch die enge räumliche Begrenzung eine vollständig ausnahmsweise Erscheinung bei Erdbeben, sondern (und namentlich die letztere) eine Eigentümlichkeit der Gebiete thätiger oder erloschener Vulkane sei. Der Vultur bei Melfi, das Albanergebirge bei Rom und viele andere ließen räumlich sehr beschränkte Erschütterungen beobachten. Eine unverkennbare Ähnlichkeit mit dem Beben von Ischia zeigen die heftigen Stöße, welche sich am 24. Mai 1890 am südöstlichen Ende der vulkanischen Insel Pantellaria ereignet haben. Wir haben dieses Bebens schon im vorhergehenden Kapitel Erwähnung gethan (vgl. S. 188); trotz ihrer Stärke wurden die Erschütterungen nur in der unmittelbaren Umgebung der betroffenen Siedelungen gespürt; in der Ortschaft Pantellaria, am entgegengesetzten Ende der 13 km langen Insel, wurde nichts davon wahrgenommen. Die alten Kraterböden wurden dermaßen erhitzt, daß die Vegetation zu Grunde ging, und die Fumarolen zeigten eine stark vermehrte Thätigkeit; ein Teil der Küste erfuhr eine leichte Hebung. Diese Ereignisse wiederholten sich im Oktober des folgenden Jahres; die wiedererwachten vulkanischen Kräfte, die im Vorjahr erfolglos angepocht hatten, bahnten sich im Oktober 1891 einen unterseeischen Ausweg unweit von Pantellaria.

Auch Ischia hat vulkanischen Boden (vgl. S. 179), und mehrmals in historischer Zeit, zuletzt im Jahre 1302, haben hier Lavaausbrüche stattgefunden. Die ganze Insel besteht aus Tuffen und Laven, und auch die dortigen Thone sind nur durch Zersetzung von Tuffen entstanden. Durch Verfolgung der heißen Quellen, Gasausströmungen und Fumarolen wurde Baldacci zu der Annahme gedrängt, daß die Insel von zwei sich kreuzenden Spalten durchzogen wird, welche sich gerade bei Casamicciola schneiden, also an dem Punkte, an welchem die Stöße ihren Oberflächenmittelpunkt haben (s. Abbildung, S. 297). Wenn auch Mercalli die Existenz dieser Spalten für nicht sicher erwiesen hält, so ergibt sich doch aus allen anderen

Umständen die einzig zulässige Deutung, daß die Erschütterungen auf Ischia durch vulkanische Kräfte bedingt seien und daß sie mit Regungen geschmolzener Massen in der Tiefe in Verbindung stehen.

Leider gibt dieser Umstand für die Zukunft der Insel eine wenig beruhigende Aussicht. Im Jahre 1302 hat, wie erwähnt, der letzte vulkanische Ausbruch stattgehabt; von da an scheinen dort starke, verheerende Erdbeben lange Zeit hindurch nicht vorgekommen zu sein. Eine etwas heftigere Bewegung wird aus dem vorigen Jahrhundert gemeldet; stärker war sie im Jahre 1812, und seither sind 15 zum Teil sehr bedeutende Stöße vorgekommen, denen die alle früheren weit übertreffende Katastrophe von 1881 und mit verdoppelter Wut jene von 1883 folgten. Es drängt sich der Vergleich mit den Erdbeben auf, welche die unmittelbare Umgebung des Vesuvs heimsuchten und im Jahre 63 Pompeji niederwarfen, ehe der Berg im Jahre 79 nach jahrhundertelanger Ruhe zu furchtbarem Paroxysmus erwachte. Ischia gehört in das Gebiet der Phlegräischen Felder, in welchem kein dauernder Ausbruchspunkt vorhanden ist, sondern bald hier, bald dort sich ein Krater bildet, der entweder nur einmal oder in sehr langen Zwischenräumen in Thätigkeit tritt. Die Eruptionen der Solfatara 1198, auf Ischia 1302, am Monte Nuovo 1538 sind die letzten derartigen Ereignisse, und die Annahme ist nur zu naheliegend, daß wir am Vorabend eines neuen Ausbruches stehen, der sich auf Ischia oder günstigsten Falles in seiner Nachbarschaft im Meere einen Ausweg bahnen wird. Doch kann lange Zeit vergehen, ehe dies geschieht; ebenso ist die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, daß sich die Bewegung beruhigt, ohne daß es bis zur Bildung eines neuen Feuerberges kommt. Besonders ist zu erwarten, daß kein solches Ereignis eintritt, solange der Vesuv in Thätigkeit ist, da bisher Ausbrüche in den Phlegräischen Feldern nur stattgefunden haben, wenn der Vesuv in Ruhe war.



Karte der Insel Ischia. A—B, C—D Verlauf der Spalten. Vgl. Text, S. 296.

Verbreitung der Erdbeben.

Die Vorgänge von Casamicciola haben uns Erdbeben von engster lokaler Beschränkung kennen gelehrt, die immerhin zu den sehr seltenen Fällen zählen. Die Regel ist, daß sich die Wirkungen über ein weites Areal ausdehnen. Als das bekannteste und extremste Beispiel in dieser Richtung wird stets das Erdbeben von Lissabon erwähnt, das sich über einen Flächenraum von 700,000 geogr. Meilen, also etwa den dreizehnten Teil der Erdoberfläche erstreckt haben soll. Hierbei ist jedoch zu bemerken, daß man diese enorme Ausdehnung dann erhält, wenn man die Gebiete mitrechnet, in denen auch nur ein stärkeres Branden des Meeres an der Küste bemerkt wurde. Die Katastrophe von Lissabon war, wie schon erwähnt (S. 293), von einer furchtbaren, durch den Stoß erzeugten Flutwelle begleitet, und diese Oszillationen pflanzten sich über den ganzen Atlantischen Ozean fort. Aber daraus darf man natürlich nicht folgern, daß sich das Beben selbst so weit fortgesetzt habe, sowenig dies bei den mächtigen Wogen angenommen

werden kann, die, von Erschütterungen an der südamerikanischen Westküste erzeugt, sich bis an die Gestade Australiens und Japans fühlbar machen und die Ränder der südpolaren Eismassen aufbrechen. Indes auch unter bloßer Berücksichtigung der Punkte, an welchen Erschütterungen wirklich beobachtet wurden, und unter Annahme einer auch nur wenig über den Grund des Atlantischen Ozeans sich erstreckenden Ausdehnung erhält man eine Verbreitung von weit über 100,000 Quadratmeilen; wahrscheinlich jedoch war sie größer, und bei gar nicht sehr sanguinischer Berechnung kommt man auf etwa 300,000 Quadratmeilen (s. untenstehende Karte). Das

Geographische Verbreitung des Schallphänomens beim Ausbruch des Krakatau, des Erdbebens von Lissabon ꝛc.

I. Verbreitung des Erdbebens von Lissabon vom 1. November 1755. — II. Verbreitung des Erdbebens im südöstlichen Mittelmeer vom 24. Juni 1870 (vgl. Text, S. 300). — III. Verbreitung des Schallphänomens beim Ausbruch des Temboro auf Sumbawa (vgl. Text, S. 236). — IV. Verbreitung des Aschenregens beim Ausbruch des Conseguina (vgl. Text, S. 252). — V. Verbreitung des Schallphänomens beim Ausbruch des Krakatau (vgl. Text, S. 230). — VI. Verbreitung des bengalischen Bebens vom 31. Dezember 1881 (vgl. Text, S. 314). — VII. Verbreitung des Erdbebens von Charleston 1886 (vgl. Text, S. 299). — VIII. Schüttergebiet des Bebens von Wernoje 1887 (vgl. Text, S. 308).

Areal starker Zerstörung erstreckte sich im Süden bis Mogador an der Küste von Marokko und umfaßte einen großen Teil der Pyrenäenhalbinsel. Fast ganz Portugal wurde verwüstet, Sevilla, Cadiz, Jeres, Madrid und andere Städte litten heftig; dagegen verdient eine vereinzelte Angabe über Zerstörung in England wohl keine Berücksichtigung. Von entfernten Orten, an denen die Erschütterung überhaupt empfunden wurde, ist die Insel Madeira zu nennen, von zahlreichen Punkten in Frankreich mag Caen als ganz im Norden gelegen erwähnt werden; auch scheint zu Cork in Irland eine wirkliche und nicht unbedeutende Erschütterung stattgefunden zu haben, was mit der Annahme der Hauptverbreitung längs einer Nordsüdlinie gut im Einklang stehen würde. Aus Holland wurden ebenfalls von mehreren Orten Bewegungen gemeldet, ebenso aus Hamburg, Holstein und Dänemark; doch wird man in diese Angaben einige Zweifel setzen dürfen, zumal sie aus einer Quelle stammen, von welcher der überaus gewissenhafte und vorsichtige Hoff wohl mit gutem Grunde sagte, daß sie gern Wunderbares berichte. In Süddeutschland sollen Kannstatt,

Augsburg und Donauwörth, in der Schweiz Basel und ganz besonders Brieg in Wallis Stöße empfunden haben; in Italien sind Turin und Mailand zu nennen, während aus dem Süden ausdrücklich Ruhe gemeldet wird.

Eine ganz besonders auffallende Eigentümlichkeit des Erdbebens von Lissabon bilden die Wirkungen auf Seen, Teiche und Quellen. Von den Seen der schottischen Hochlande, aus England, der Mark Brandenburg, dem südlichen Schweden, aus Oberbayern, der Schweiz und Italien wird von einer Menge von Punkten übereinstimmend gemeldet, daß ohne die mindeste sichtbare oder fühlbare Veranlassung die Wasserflächen der Seen in wogende Bewegung geraten seien.[1] Zahllose Quellen trübten sich, blieben aus, flossen stärker oder schwächer oder änderten ihre Temperatur. Von der Therme von Teplitz berichtet Hoff, daß am 1. November 1755, dem Tage des Erdbebens von Lissabon, „zwischen 11 und 12 Uhr die Hauptquelle plötzlich eine so große Menge Wasser auswarf, daß in einer halben Stunde alle Bäder überflossen; schon eine halbe Stunde vor diesem Aufquellen war das Wasser schlammig geworden. Nachdem es hierauf beinahe eine Minute lang ganz ausgeblieben war, brach es mit großer Gewalt hervor und warf eine große Menge rötlichen Ockers aus; hierauf wurde die Quelle wieder ruhig und rein wie zuvor." Besonders bemerkenswert ist, daß diese Irritierung der Seen und Quellen über einen sehr viel größeren Raum bemerkt wurde als die Erschütterung der Erde.

Solches ergeben die Berichte. Wieviel an ihnen wahr, wieviel irrig sein mag, ist heute nicht mehr zu ermitteln; nur eins mag bemerkt werden: die Katastrophe von Lissabon regte die Gemüter in ganz Europa in einer unerhörten Weise auf. Im Hinblick auf die Flut von Flugschriften, Abhandlungen, politischen Denkschriften, Predigten, Gedichten ꝛc., die damals im Druck erschienen, darf man sagen, daß dies neben der französischen Revolution das sensationellste Ereignis des 18. Jahrhunderts war. Unter diesen Umständen wird man es begreiflich finden, daß die aufgeregte Phantasie der Menschen manches zu sehen glaubte, was nicht existierte, und daß jede nicht allergewöhnlichste Naturerscheinung, die zufällig an jenem oder am vorausgehenden oder folgenden Tage eintrat, unmittelbar mit dem großen Erdbeben in Verbindung gebracht wurde. Viel, sehr viel mag auf Rechnung dieses subjektiven Koeffizienten gesetzt werden; jedenfalls aber ist sicher, daß die Ausbreitung des Erdbebens vom 1. November 1755, seiner Heftigkeit entsprechend, überaus groß und von ziemlich ausnahmsweisen Erscheinungen an Quellen und Seen begleitet war.

Kein anderes Erdbeben, soweit wir sichere Kunde haben, scheint sich auch nur entfernt an Ausdehnung mit diesem vergleichen lassen zu können; aber es besteht natürlich kein Grund für den Glauben, daß hier wirklich ein ganz ausnahmsweiser Fall vorliege. Wäre nicht durch den Stoß von 1755 eine der reichsten und größten Städte Europas zu Grunde gegangen, so hätte man die Nachrichten über seine Verbreitung nicht so eifrig gesammelt. Aus unkultivierten Gegenden wären sogar höchst wahrscheinlich selbst unter unseren heutigen weit ausgebildeten Verkehrsverhältnissen Nachrichten über die Verbreitung auch bei der größten Anstrengung nicht zu erhalten. Immerhin wissen wir noch von manchen Erschütterungen, die über sehr bedeutende Strecken fühlbar waren. So wurde das wegen der dabei angeblich eingetretenen Hebung der Küste so vielbesprochene Erdbeben von Chile vom Jahre 1822 an nahezu 400 geogr. Meilen voneinander entfernten Punkten bemerkt, und noch einige andere südamerikanische Stöße stehen hinter diesem kaum zurück. Das Beben von Charleston in Südcarolina vom Jahre 1886 machte sich über

[1] Hier darf wohl gefragt werden, ob nicht sehr oft eine „Seiche", die gerade zufällig um diese Zeit eintrat, und die sonst wohl in Vergessenheit geraten wäre, nach Eintreffen der Botschaft aus Lissabon in dieser Weise gedeutet wurde.

eine Fläche von 4—5 Mill. qkm fühlbar (s. Karte, S. 298). Von den uns näher gelegenen Gegenden scheint eine Ausgangsstelle für sehr ausgebreitete Erdbeben in der südöstlichen Ecke des Mittelmeeres, im Norden des Roten Meeres oder in den angrenzenden Ländern zu liegen. Am 24. Juni 1870 fand ein starkes Erdbeben statt, das Arabien, Ägypten, Italien, Griechenland, Kleinasien und Syrien erschütterte; am östlichen Ufer des Roten Meeres reichte dasselbe bis Aden; sonstige extrem gelegene Punkte sind Neapel und Urbino in Italien, Athen, die Dardanellen, Lesbos, Smyrna und Beirut in Syrien (s. Karte, S. 298). J. Schmidt macht aber ausdrücklich darauf aufmerksam, daß wohl nur die Armut und Unvollkommenheit der Nachrichten daran hinderten, eine größere Verbreitung nachzuweisen. Merkwürdig ist es, daß am 12. Oktober 1836 eine Erschütterung eintrat, welche nahezu dieselbe Verbreitung hatte. Während die früher genannten Stöße zu den furchtbarsten gehörten, läßt sich dies von demjenigen des 24. Juni 1870 nicht sagen; er war heftig, scheint aber nirgends nennenswerten Schaden angerichtet zu haben. Immerhin erstreckte er sich, wie wir soeben gesehen haben, über ein außerordentlich großes Areal, und es zeigt uns schon dieser eine Fall, daß zwischen Intensität und Ausbreitung kein notwendiger Zusammenhang besteht. Die nur fünf Wochen später eingetretenen furchtbaren Erdbeben von Phokis, die oben (S. 288) geschildert wurden, reichten, wie es scheint, nicht einmal über 2500 Quadratmeilen hinaus. Der in Casamicciola alles zerstörende Stoß vom 4. März 1880 war überhaupt nur auf Ischia fühlbar, während das mitteldeutsche Erdbeben von 1872, das kaum ein paar Mörtelstückchen abwarf, sich über 3100 Quadratmeilen erstreckte. Ebensowenig besteht eine bestimmte Beziehung zwischen der Größe des Gebietes, in welchem die Erschütterung sehr stark und verheerend auftritt, und dem Umfang des Areals, in welchem die Bewegung überhaupt bemerkt wird. Das große kalabrische Erdbeben von 1783, bei dem 20,000 Menschen zu Grunde gingen, warf auf einem Flächenraum von 5½ Quadratmeilen alles nieder, das Schüttergebiet aber war ein ganz beschränktes, während anderseits bei dem Erdbeben von Belluno 1873 die Beschädigungen auf den Raum von 1 Quadratmeile beschränkt blieben, das Beben aber auf einer Fläche von 45,000 Quadratmeilen bemerkt wurde.

Wenn wir bis jetzt von der Verbreitung der Erdbeben gesprochen haben, so war nur von jenen Erschütterungen die Rede, welche vom Menschen unter günstigen Verhältnissen bemerkt und unmittelbar beobachtet werden können; anders verhält es sich dagegen mit jenen leisesten Vibrationen, welche, uns unfühlbar, nur von jenen empfindlichen Instrumenten angegeben werden, die man in neuerer Zeit namentlich in Italien und in Japan benutzt. Wäre der Gebrauch dieser „Seismometer" überall verbreitet, so könnte man die Erstreckung der Erdbeben noch viel weiter verfolgen, wie sich dies sehr deutlich beim Agramer Erdbeben von 1880 und beim andalusischen Beben von 1884 zeigte. Die Stöße des kroatischen Bebens erstreckten sich zwar bis nach Italien, wurden aber hier nur im äußersten Nordosten, in Venedig, Udine und Padua, von den Einwohnern bemerkt; entferntere Orte, z. B. schon Bologna, nahmen nichts wahr, und jenseit der Apenninen wurde keine Spur mehr beobachtet. Aber die Instrumente zu Rocca di Papa im Albanergebirge, südlich von Rom, und diejenigen zu Neapel verzeichneten alle stärkeren Stöße, die sich in Agram ereigneten. Ähnlich verhielt es sich bei dem andalusischen Beben. Auch dieses wurde durch die Seismographen weit außerhalb des eigentlichen Schüttergebietes registriert, so zu Rom, Velletri und Moncalieri.

So fein auch diese Seismometer sind, so entgehen ihnen doch manche schwächere Stöße; jedenfalls werden sie an Empfindlichkeit bei weitem von gewissen astronomischen Instrumenten übertroffen, welche selbst auf die leichtesten Erschütterungen reagieren. Diese Wahrnehmung wurde schon vor vielen Jahren gemacht, so von Argelander im Jahre 1849, von den Astronomen der großen russischen Sternwarte in Pulkowa in den sechziger Jahren, und es wurde schon damals

in Pulkowa die Vermutung ausgeſprochen, daß die beobachteten Störungen und Erſchütterungen als Fernwirkung der großen ſüdamerikaniſchen Erdbeben zu betrachten ſeien. Störungen an magnetiſchen Apparaten der Obſervatorien zu Wilhelmshaven, Liſſabon und Greenwich wurden auf das vorhin genannte andaluſiſche Beben bezogen, und ebenſo ſind die Erſchütterungen des liguriſchen Bebens von 1887 durch die aſtronomiſchen und magnetiſchen Inſtrumente in Paris, Köln, Brüſſel, Greenwich, Wien und Liſſabon angezeigt worden. Oscillationen der Libelle am Niveau des großen Meridiankreiſes der Berliner Sternwarte beobachtete Küſtner im Anſchluß an das Erdbeben von Patras in Griechenland am 26. Auguſt 1889, und ähnliche Blaſenſchwingungen zeigten ſich auf derſelben Sternwarte nach dem großen japaniſchen Beben vom 27. Oktober 1891. Nun wurden in neueſter Zeit neben dieſen zufälligen Wahrnehmungen an mehreren Orten ſyſtematiſche Beobachtungen mit dem Horizontalpendel vorgenommen, einem einfachen, aber ſehr empfindlichen Inſtrument, welches auf die leiſeſte Erſchütterung in Schwingungen gerät und dieſe auf einem kontinuierlich fortbewegten photographiſchen Papier ſelbſt regiſtriert. Solche Pendel waren aufgeſtellt in Wilhelmshaven und gleichzeitig in Potsdam, in Puerto Orotava auf Teneriffa, ferner gleichzeitig in Straßburg und in Nikolajew, zunächſt zu dem Zweck, um etwaige Schwankungen in der Richtung der Lotlinie und Schwereſtörungen zu verzeichnen, wovon wir ſchon im Vorhergehenden Kenntnis zu nehmen Gelegenheit hatten. Dieſe Inſtrumente regiſtrierten eine beträchtliche Anzahl von Störungen, die meiſten davon gleichzeitig an verſchiedenen Orten, ſo in Straßburg und zugleich in Nikolajew, ſo daß man ſie auf dieſelben, in weiter Entfernung ſich abſpielenden Erſchütterungen, alſo wohl Erdbeben, zurückführen mußte.

Gewiſſe Störungen konnten auf das Erdbeben von Tokio am 18. April 1889 bezogen werden. Die Bebenwelle brauchte 64 Minuten, um den 9000 km langen Weg bis Berlin zurückzulegen; ſie bewegte ſich mit einer durchſchnittlichen Geſchwindigkeit von $2^1/_3$ km in der Sekunde. Ebenſo wurde das Erdbeben von Wernoje vom 11. Juli 1889 und das ſchon genannte Beben von Patras vom 25. Auguſt durch das Horizontalpendel verzeichnet. Das erſtere Beben verurſachte überdies mechaniſche Störungen in den Aufzeichnungen des Magnetographen in Pawlowsk und Libellenſchwingungen auf der Berliner Sternwarte. Unter Zugrundelegung der vom Horizontalpendel verzeichneten Zeit ergab ſich eine Geſchwindigkeit von 5 km in der Sekunde, dagegen muß eine Geſchwindigkeit von 3,5 km angenommen werden, wenn man die Berliner und Pawlowsker Störung berückſichtigt. Eine naheſtehende Ziffer, ungefähr 3 km in der Sekunde, konnte aus dem Eintreffen der Patraſer Erſchütterungen erſchloſſen werden. Das Beben von Malatia in Kleinaſien am 9. Februar 1893 markierte ſich nicht nur am Horizontalpendel in Straßburg und in Nikolajew, ſondern auch in Potsdam an den magnetiſchen Photogrammen. Auf das Erdbeben von Kumamoto auf Kiuſiu (Japan) vom 28. Juli 1889 wurden zwei Störungen bezogen, und man vermutete, daß die frühere der auf dem kürzeren, die ſpätere der auf dem längeren Wege über die Antipoden zu uns gelangten Welle entſpreche. Die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit betrug hierbei 2,2, bez. 2,3 km in der Sekunde. Außerdem konnten auch noch einige andere Koinzidenzen zwiſchen Erdbeben und Störungen des Horizontalpendels mit größerer oder geringerer Wahrſcheinlichkeit feſtgeſtellt werden.

Offenbar ſind dies höchſt wichtige Beobachtungen von einſchneidender Bedeutung, aber leider ſtehen wir erſt am Anfang dieſer Erkenntniſſe, die eine feſte, beſtimmte Form erſt gewinnen werden, wenn ſie durch ein Netz von Beobachtungen an vielen Punkten der Erde eine Beſtätigung erfahren haben werden. Allem Anſchein nach werden wir anzunehmen haben, daß ſich ſtärkere Bebenſtöße über die ganze Erdkruſte ausbreiten können und ſich hierbei mit einer durchſchnittlichen Geſchwindigkeit von ungefähr 2,2—5 km bewegen.

Die Wirkung eines Erdbebens ist bisweilen selbst innerhalb seines Verbreitungsbezirks sehr ungleich; von zwei ganz nahe bei einander liegenden Orten wird oft der eine sehr stark, der andere nur wenig oder gar nicht erschüttert. In den sehr unruhigen Gegenden Südamerikas hat man die Bemerkung gemacht, daß einzelne Orte von allen Erdbeben übersprungen werden und unbewegt bleiben oder nur sehr wenig zu leiden haben; sie bilden eine „Brücke", wie man dort sagt. Am heftigsten und verderblichsten pflegen die Stöße da zu wirken, wo über fester, felsiger Grundlage eine nicht sehr mächtige Decke loser Gesteine, namentlich tertiärer, diluvialer oder recenter Thone, Sande oder Gerölle, liegt. Wie Sandkörner, die man etwa auf den Resonanzboden eines Klaviers streut, von den Schwingungen desselben in die Höhe geschleudert und in tanzende Bewegung versetzt werden, so werden diese unzusammenhängenden Aufschüttungsmassen durch die Bewegung der festen Unterlage wild durcheinander geschüttelt, und solche Stellen sind es, an denen in der Regel die schwersten Schäden angerichtet werden. Ragt aus einer solchen Decke junger Materialien eine Kuppe des alten Felsgerüstes empor, so bleibt diese verhältnismäßig ruhig: sie bildet bei sehr heftigen Erschütterungen oft eine Oase der Ruhe, eine „Brücke". Noch viele andere Verhältnisse beeinflussen natürlich die Ausbreitung. Diese ist im Streichen der Schichten eine andere als im Fallen; ja, es scheint, daß die Schwingungsrichtung durch das Streichen und Fallen der Schichten geradezu vorgeschrieben ist, und daß auf diese Weise eine Art Doppelbrechung der Bebenwelle eintritt, wie dies besonders A. Schmidt betont hat. Spalten treten der Fortpflanzung abschwächend in den Weg, Gebirge schneiden die Verbreitung bisweilen total ab, oder die Wellen einer Erschütterung prallen sogar an einem Gebirgszug ab, wie Mallet es in einem Falle mit großem Scharfsinn nachzuweisen gesucht hat, und werden von demselben zurückgeworfen wie Lichtstrahlen, die auf einen Spiegel fallen.

Wie die Verbreitung der einzelnen Erdbeben, so ist auch deren Vorkommen und Bedeutung im ganzen wesentlich bedingt von dem geologischen Bau der einzelnen Länder. Große, ebene, tafelförmige Landstriche, die mit sehr mächtigen Massen junger Ablagerungen bedeckt sind, bilden, wie wir das an der Norddeutschen Ebene, an dem Russischen und Sibirischen Tiefland erkennen, jenen Typus, welcher am seltensten und schwächsten von Erdbeben heimgesucht wird; auch Massengebirge sind ihnen nicht sehr ausgesetzt. Dagegen sind die Kettengebirge und die an ihrem Steilrand sich ausdehnenden Ebenen, ferner die Umgebungen der Mittelmeere, namentlich solcher, die nach einer Seite von einer Reihe von Inseln eingefaßt sind, heftigen Erschütterungen unterworfen. Außer der Norddeutschen Ebene und der Russisch-sibirischen Niederung sind erdbebenarm und besonders von starken Stößen fast ganz frei der Rest des außeralpinen Deutschland, der größte Teil von Frankreich, England und Skandinavien, ferner die brasilische Kontinentalmasse und namentlich der größte Teil von Afrika südlich der Sahara. Als erdbebenreiche Gebiete sind zunächst die Alpen zu bezeichnen. Die gesamten Küstenländer des Mittelländischen Meeres, Nordafrika, die Pyrenäenhalbinsel, Italien, die Balkanhalbinsel, Kleinasien, Syrien und weiterhin der Kaukasus, Armenien, Persien werden von den Erschütterungen sehr oft und in äußerst heftiger Weise betroffen. Auf der ganzen Erdoberfläche ist nur das Gebiet von Zentralamerika noch mehr heimgesucht als jene, während die ostasiatische Inselregion mit der Mediterrangegend ungefähr auf einer Stufe stehen mag. Das Erdbeben von Lissabon, bei dem nach verschiedenen Angaben 30—60,000 Menschen zu Grunde gegangen sein sollen, die großen kalabrischen Stöße, bei denen die Zahl der Toten zwischen 10,000 und 30,000 wechselte, das sizilische Beben von 1693, bei dem 60,000 Menschenleben vernichtet wurden, die fürchterlichen Stöße, welche Phokis und Achaja verwüsteten, die Katastrophe von 1880 auf Chios, das Erdbeben, das im Jahre 536 in Syrien und Kleinasien 120,000 Opfer forderte, sind einige der grellsten Beispiele, welche die furchtbare Energie dieser Erscheinungen im Mittelmeergebiet erweisen.

Manche Teile Ostindiens, vor allen aber die ostasiatischen Inseln, namentlich Japan, sind sehr heftigen Erschütterungen ausgesetzt. In Amerika kommen zwar in den nördlicheren Teilen Erdbeben nicht selten und mitunter in ziemlich beträchtlicher Stärke vor, allein im ganzen sind es doch verhältnismäßig ruhige Gegenden. Dagegen stellen Zentralamerika und der westliche und nördliche Küstenstrich von Südamerika samt Westindien den Teil der Erde dar, welcher die meisten und heftigsten Stöße zu erleiden hat. Die Stadt Lima wurde seit dem Jahre 1586 elfmal vollständig zerstört, und die Erdbeben von Carácas 1812, Riobamba 1797, Iquique 1868, die Erschütterungen, die Ecuador und Kolumbien in demselben Jahre verwüsteten, und eine Menge anderer gehören zu den schrecklichsten Ereignissen, die sich je zugetragen haben.

Natur und Wirkung der Stöße.

Nur von dem Gebiet stärkster Zerstörung, dem „pleistoseisten“[1] Gebiet, kann natürlich die Rede sein, wenn wir von Intensität der Erdbeben sprechen und diejenige verschiedener Stöße vergleichen; denn es hat wohl nie ein Erdbeben gegeben und kann es nach den unabänderlichen Gesetzen der Mechanik nicht geben, dessen Schwingungen nicht nach den Rändern seiner Verbreitung zu allmählich sich abschwächten und verklängen, das also nicht lokal sehr unbedeutend aufträte. Die Bestimmung der Intensität bei Erschütterungen bietet übrigens vorläufig noch sehr große Schwierigkeiten. Das Gefühl der Menschen ist in dieser Beziehung überaus trügerisch, und noch mehr sind natürlich die Ansichten darüber verschieden, wie dieses Gefühl auszudrücken sei. In Gegenden, welche selten und nur von harmlosen Stößen heimgesucht sind, wird eine Bewegung des Bodens schon als heftig bezeichnet und verbreitet allgemeinen Schrecken, die in Zentralamerika, in Ecuador, Peru oder Chile kaum beachtet wird. Man nimmt daher in der Regel die Wirkung, namentlich diejenige auf Gebäude, auf frei stehende Gegenstände ꝛc., zum Maßstab und hat danach in den letzten Jahren eine Skala der Erdbeben zu entwerfen gesucht, welche zehn verschiedene Stärkegrade unterscheidet. Allein auch das sind nur sehr relative Werte, denn in einer Gegend, in welcher eine solide Bauart der Häuser üblich ist, werden die Verwüstungen sehr viel geringere sein als da, wo man in dieser Beziehung sorglos zu verfahren pflegt. Ebenso ist die Natur der Örtlichkeiten, die man in verschiedenen Gegenden vorwiegend zu Städteanlagen benutzt hat, von großem Einfluß auf die Wirkung der Erdbeben.

Lehrreich ist in dieser Hinsicht Mallets Bemerkung über die Wirkungen des kalabrischen Erdbebens von 1856. Er gibt an, daß die meisten Häuser der vernichteten Ortschaften unregelmäßig aus runden, ovalen und eckigen Blöcken zusammengefügt waren, deren weite Fugen höchst unvollkommen mit schlechtem, zu wenig Sand enthaltendem Mörtel ausgefüllt waren, und daß diese Gebäude beim ersten Stoß zu einem wüsten Trümmerhaufen zusammenfielen, während vollständig gut gebaute Häuser unbeschädigt inmitten der chaotischen Verwüstung standen.

Aber nicht nur dem Grade nach weichen die Erschütterungen voneinander ab, sondern auch dem ganzen Wesen der Bewegung nach sind zwei verschiedene Klassen zu unterscheiden: die eigentlichen Stöße und die Schwingungen, die „sukkussorischen“ und die „undulatorischen“ Beben. Manchmal (z. B. am 9. November 1880 in Agram) sind durch das ganze Schüttergebiet nur Wellenbewegungen des Bodens bemerkbar, während man in anderen Fällen je nach der Lokalität einen senkrecht oder schräg von unten nach oben gerichteten Stoß empfindet. Allerdings sind die beiden Formen insofern nicht scharf geschieden, als ein sukkussorischer Stoß nicht

[1] Von πλεῖστος (pléistos), am meisten, und σειστός (seistós), von Erdbeben erschüttert.

nur an den Stellen, wo er sehr schräg die Oberfläche trifft, als Wellenbewegung empfunden wird, sondern auch als Nachwirkung nach allen Richtungen hin eine schwingende Bodenbewegung erzeugt, wie dies eine bei zahllosen Berichten sich wiederholende Bemerkung ist: „Stoß mit nachfolgender Wellenbewegung".

Als eine dritte Form hat man früher noch die drehende oder Wirbelbewegung genannt und glaubte gerade dieser die verheerendsten Wirkungen zuschreiben zu müssen. Als ein sehr bekanntes und oft genanntes Beispiel für diese Art der Bewegung wurden die Veränderungen genannt, die an zwei Steinobelisken vor dem Kloster des heiligen Bruno zu San Stefano del Bosco in Kalabrien bei dem Erdbeben von 1783 eintraten (s. untenstehende Abbildung). Jeder derselben bestand außer dem Piedestal aus drei aufeinander stehenden Steinblöcken; das Piedestal blieb unverrückt an seinem Platze, die aufliegenden Blöcke dagegen wurden horizontal gedreht, ohne abgeworfen zu werden. Ähnliches wird von einem Kirchturm auf der Insel Majorca berichtet. Mehrere Fälle wurden beim Erdbeben von Belluno 1873 beobachtet, wo ein auf dem Turmdach des Domes befindlicher 5 m hoher Engel aus Bronze, der nicht fallen konnte, da eine mächtige senkrechte Eisenstange ihn festhielt, um etwa 20° um seine Achse gedreht wurde. Bei dem von Lasaulx beschriebenen ziemlich schwachen Erdbeben, das 1878 am Niederrhein stattfand, wurde an der Front des Polytechnikums in Aachen eine 3 m hohe Statue, die aus drei Stücken bestand, in ähnlicher Weise verschoben wie die Obelisken von San Stefano; in Agram wurden 1880 auf dem Friedhof die Leichensteine gedreht und namentlich die Quadern an dem eben im Bau begriffenen Treppenturm des Domes drehend verschoben. Solche Erscheinungen, die durchaus nicht sehr selten sind, deutete man früher als die Wirkungen von Wirbelstößen; jedoch mit Unrecht. Ein Wirbelstoß könnte natürlich nur ganz in seinem Zentrum einen solchen Effekt hervorbringen, weiter seitwärts würde er nur wie ein einfacher Horizontalstoß wirken; verhältnismäßig so kleine Gegenstände mit geringer Basis wie z. B. ein Obelisk würden aber im Zentrum eines heftigen Bebens natürlich umgestürzt werden. Überdies lassen sich alle diese Erscheinungen sehr einfach auf andere Weise erklären, wie dies durch ein von Lasaulx gegebenes Beispiel sehr gut erläutert wird: legt man ein würfelförmiges Holzklötzchen, das an seiner Unterseite, aber nicht in deren Mitte, eine kleine Nadelspitze trägt, auf einen festen Tisch und drückt die Nadelspitze in diesen ein, so genügt ein horizontaler Stoß, um das Klötzchen in drehende Bewegung zu versetzen.

Ein durch das Erdbeben vom Jahre 1783 gedrehter Obelisk vom Kloster San Bruno zu San Stefano in Kalabrien.

Die sukkussorischen Erdbeben bringen in der Regel die größten Zerstörungen hervor, doch wird sehr häufig nicht genau der Oberflächenmittelpunkt, in welchem der Stoß senkrecht trifft, am meisten verwüstet, sondern der stärkste Ruin erfolgt in einiger Entfernung, wo der Stoß in etwas schräger Richtung ankommt. Bisweilen sind aber auch die vollständig senkrechten Schläge von kolossaler Wirkung: in Kalabrien wurden ganze Häuser emporgeworfen und fielen ohne sehr große Beschädigung wieder nieder, während andere wie durch die Explosion einer Pulvermine samt den Fundamenten in die Höhe geschleudert und vollständig zertrümmert wurden. Zu Riobamba sollen im Jahre 1797 die Leichen der Einwohner über einen Bach auf einen mehrere Hundert Fuß hohen Hügel geschleudert worden sein, und bei dem chilenischen Erdbeben 1837

wurde, wie berichtet wird, ein 10 (?) m tief in die Erde gerammter Mastbaum, der überdies mit Eisenklammern festgehalten war, aus seinem Lager herausgeschnellt, ohne daß das Loch in der Erde, in dem er gesteckt hatte, zerstört wurde. Allerdings tritt dieser „schußartige" Charakter nur verhältnismäßig selten hervor, und manches, was darüber berichtet wird, dürfte auf Übertreibung beruhen; allein auch ohne ihn ist die Wirkung sehr starker sukkussorischer Stöße eine furchtbar verheerende, obwohl die Annahme, welche das größte Unheil immer den Stößen von unten zuschreibt, auf einer Verallgemeinerung einiger sehr eklatanter Fälle zu beruhen scheint.

Den Gesamteindruck der Erscheinungen bei einem heftigen Erdbeben haben wir schon an einigen Beispielen kennen gelernt; hier mag als Ergänzung in manchen Punkten noch eine Darstellung des kalabrischen Erdbebens von 1783 folgen: Der Mittelpunkt der Zerstörung zeigte sich in Calabria ulteriore in der Gegend der Stadt Oppido und der Orte Sittizano, Casoletto, Christina und Sinopoli Vecchio. Die Gegend 22 italienische Meilen im Umkreis des erstgenannten Ortes, der ebenfalls von Grund aus zerstört wurde, hatte die stärkste Erschütterung erlitten, die dort senkrecht von unten nach oben wirkte; fast alle in diesem Umkreis gelegenen Städte und Dörfer wurden umgestürzt. Außerhalb dieses Gebietes stärkster Verwüstung wurde in einem weiteren Umkreis von 72 Meilen Halbmesser noch große, wiewohl minder bedeutende Zerstörung angerichtet, besonders durch die Stöße vom 5. Februar und 28. März. In dem ersteren kleineren Kreise liegen zahlreiche Ortschaften, darunter die zwei bedeutenden Städte Reggio in Kalabrien und Messina in Sizilien. Von Oppido wird berichtet, daß die Sonne am 5. Februar mit trübem Lichte aufging, der Himmel sich nach und nach bewölkte, sich aber wieder aufheiterte. Um Mittag zog sich allmählich ein trüber Nebelschleier durch die Atmosphäre, Windstille, wie sie oft Gewittern voranzugehen pflegt, machte die Wolken in ihrem Zuge stillstehen, und kein Luftzug war zu spüren; das Geflügel und die vierfüßigen Tiere hatten keine Ruhe, sie irrten unsicher hin und her und schienen innerlich bewegt und bestürzt. Nun folgte ein dumpfes, undeutliches Murmeln in der Luft, und plötzlich erhob sich ein Wind mit Pfeifen und sonderbarem dumpfen Geräusch; die Erde fing an, mit leichten, wellenförmigen Bewegungen zu beben. Hierauf folgte sogleich kurz nach Mittag der erste heftige Stoß, der augenblicklich die furchtbarste Zerstörung anrichtete. Ihm folgten mehrere und namentlich in der Nacht vom 6. zum 7. noch sehr heftige und verwüstende Stöße; ja, die Erde blieb mehrere Wochen und Monate hindurch in fortwährender Bewegung. Am 1. März erfolgte wieder ein stärkerer Stoß und am 28. März eine so heftige, zwei Minuten dauernde Bewegung, daß die dadurch verursachten Zerstörungen jenen vom 5. Februar fast gleichkamen und alles zerstört wurde, was der erste Stoß verschont hatte. Es ist bemerkenswert, daß die Wirkungen sich nur auf der Westseite der das südliche Kalabrien durchziehenden kristallinischen Gebirgskette geäußert haben, nicht aber, oder nur hier und da in geringem Grade, auf der Ostseite nach dem Jonischen Meere zu. Nur in der Gegend von Catanzaro erstreckte sich die Wirkung etwas weiter nach Osten hin und zwar bei dem Stoße am 28. März, der auch in Basilicata, Salerno, Neapel empfunden wurde. Gerade in der Gegend von Catanzaro befindet sich aber eine tiefe Einsenkung des Gebirges. Die kristallinische Kette selbst hat am wenigsten von den Erschütterungen empfunden; letztere haben vielmehr die an das Gebirge sich anlehnenden hügeligen, aus jungen Gebilden bestehenden Gegenden getroffen. Das Meer in der Enge von Messina geriet bei den Erdstößen in eine Bewegung, wie sie beim Erdbeben von Lissabon bemerkt worden war; es zog sich plötzlich vom Ufer zurück, so daß man bei Scilla auf mehrere Fuß weit den Grund vom Wasser entblößt sehen konnte. Darauf kehrte es mit einer hohen Welle und mit solcher Schnelligkeit wieder zurück, daß eine Menge von Einwohnern der genannten Stadt, die sich aus ihren den Einsturz drohenden Häusern an die felsige Küste geflüchtet hatten, augenblicklich von dieser Woge weggespült und begraben und auch alle Fahrzeuge, die am Ufer lagen, in den

Abgrund gerissen wurden. Sehr merkwürdig erscheint dieses Erdbeben dadurch, daß es an mehreren Stellen bleibende Änderungen in der Gestalt des davon getroffenen Bodens hervorgebracht hat. Dieselben bestanden hauptsächlich darin, daß überall, wo in der am heftigsten erschütterten Gegend enge Flußthäler und lang hingestreckte Abhänge mit etwas steilen Wänden vorhanden waren, Teile der Höhen durch die Entstehung großer Spalten abgerissen und in Vertiefungen hinabgestürzt oder auch wohl an die gegenüberstehende Thalwand hingeworfen worden sind. Dies ist je nach der Lage des Bodens und der Heftigkeit des Stoßes zuweilen durch völliges Umstürzen, zuweilen auch nur durch Abgleiten und Niedersinken geschehen. Hier und da sind Thäler dadurch eingeengt, geschlossen oder selbst gefüllt, der Lauf der Bäche ist gehemmt worden, und an manchen Stellen sind dadurch kleine Seen und Teiche entstanden. In der Pianura di Rosarno sind gegen 50 solcher Wasserbecken gebildet worden (s. untenstehende Abbildung). Sie sind von fast kreisrunder Gestalt, wie die meisten Erdfälle; der Rand war von vielen sternförmig ausstrahlenden Spalten zerrissen, und sie waren bis oben mit Wasser gefüllt. Dabei hat man bemerkt, daß die tiefer liegenden Schichten am gewaltsamsten zerrissen und zertrümmert wurden, während die daraufliegenden oberflächlichen Partien nur eine Ortsveränderung, eine Verschiebung erlitten haben. Große, aus lockerem Erdreich bestehende Strecken wurden mit allen darauf befindlichen Bäumen und Pflanzungen zuweilen bis auf eine italienische Meile weit aus ihrer Stelle gerückt, ohne daß ihre äußere Gestalt und die Anordnung des Pflanzenwuchses darauf verändert waren. Auch mächtige Spalten entstanden (s. Abbildung, S. 307).

Kreisrunde Öffnungen bei Rosarno in Kalabrien, entstanden beim Erdbeben vom Jahre 1783.

Im Gegensatz zum Auftreten eines eigentümlich nebeligen Himmels, überhaupt unheilverkündender Witterungsverhältnisse, die hier bei dem kalabrischen Erdbeben angegeben sind, und die man vielfach als Vorboten von Katastrophen betrachtet hat, brach die Vernichtung über die Insel Chios an der Küste Kleinasiens am 3. April 1880 um 1 Uhr 42 Minuten mittags bei herrlichstem, klarem Wetter herein. Obwohl in einer durch Erschütterungen sehr heftig heimgesuchten Gegend gelegen, hatte die Insel nie sehr stark von einer solchen zu leiden gehabt. Von der entsetzlichen Verwüstung durch die Türken im Jahre 1822, nach welcher von 110,000 Einwohnern nur 2000 übriggeblieben waren, hatte sich Chios wunderbar erholt und war in den siebziger Jahren wohl die reichste und blühendste Insel in der Schar der Cykladen und Sporaden. „Ohne jedes Vorzeichen brach das große Unglück über Chios herein; begreiflicherweise sind genaue Beobachtungen über Erdbeben um so weniger zu gewinnen, je heftiger die Erschütterung und je unheilvoller die Folgen. Als gewiß geht aus vielen Erkundigungen hervor, daß der erste Stoß nicht so plötzlich und nicht in gleicher Weise sukkussorisch über Chios hereinbrach, wie es bei

der Katastrophe von Casamicciola der Fall war. Das Erdbeben scheint nicht sogleich in den ersten Sekunden seine unerhörte Heftigkeit erlangt zu haben; viele Menschen vermochten vielmehr die Thür ihres Hauses, die Straße zu erreichen. Nach kurzer, wenige Minuten dauernder Pause begann die zweite Erschütterung, dieser folgte nach wenigen Minuten der dritte, sukkussorische Stoß von furchtbarer Wirkung, dem nach 2 Minuten ein weiterer, ebenfalls sukkussorischer folgte, mit welchem der allgemeine Einsturz der Gebäude begann. An diese erste Gruppe von Stößen reihte sich um 2 Uhr 5 Minuten eine erneute heftige Bewegung der Erde, wiederum von Einsturz von Häusern begleitet; endlich gegen 3 Uhr erneute heftige Stöße, mit denen das Zerstörungswerk dieses Tages vollendet war. Alle Erschütterungen waren von heftigen donnernden, rollenden Detonationen begleitet. Seitdem verging kein Tag ohne wiederholte, zum Teil sehr heftige Stöße; am 11. April, 7¼ Uhr abends, verwandelte ein heftiger Stoß die Ruinen der Stadt Chios in Trümmer, die noch stehenden Häuser in Ruinen. Man zählte von 7 Uhr 14 Minuten nachmittags des 11. bis 7 Uhr 14 Minuten vormittags des 12. Aprils 68 Stöße. Die Verwüstungen haben sich nicht über die ganze Insel ausgedehnt, auch sind sie in dem Zerstörungsbezirk nicht von gleicher Intensität. Der Nordwesten der Insel, der südwestliche sowie der äußerste südliche Teil haben keine erhebliche Beschädigung erlitten, leider aber umfaßt das Verwüstungsgebiet gerade den blühendsten, fruchtbarsten, dicht bewohnten Teil der Insel; obgleich die Fläche, auf welcher Einstürze vorkamen, nur wenig größer ist als die Hälfte der Insel, so fielen doch von 17,000 Häusern 14,000. Es dürfte hier noch zu erwähnen sein, daß in den Antimongruben von Keramo im Nordwesten der Insel die Erschütterungen und Detonationen zwar wahrgenommen wurden, doch nennenswerte Beschädigungen weder in den Gruben noch über Tage beobachtet wurden." (G. vom Rath.)

Eine beim Erdbeben vom Jahre 1783 entstandene Spalte am Monte Sant' Angelo in Kalabrien. Vgl. Text, S. 306.

Das Elend und der Jammer der Einwohner waren furchtbar, 3541 Menschen wurden getötet, 1160 verwundet. Sehr merkwürdig und bezeichnend für die moralische Wirkung der Erdbeben ist der Bericht, den ein Arzt auf Chios, Dr. Schwarz, an G. vom Rath sandte: „Die heftigen, oft wiederholten Gemütsbewegungen haben viele nervöse Erkrankungen hervorgerufen. Mit Bedauern muß ich mitteilen, daß der größte Teil des jungen weiblichen Geschlechts nach dem Beginn der Erdbeben erkrankte und zwar teils an Epilepsie, teils an spasmatischen Anfällen. Nach der ersten schrecklichen Katastrophe verließ die Mehrzahl der Bewohner die Stadt Chios, es blieb aber immer noch eine ziemliche Anzahl zurück. Wenn ein Menschenkenner jetzt diese elenden, mehr bläulich als rötlich gefärbten Antlitze erblickt, so muß ihn wundernehmen, daß Furcht und Schrecken eine solche Verwandlung bewirken können."

Wir wollen die Art und Weise hier nicht weiter berühren, wie Gebäude durch Erdbeben beschädigt werden, und wie frei stehende Gegenstände stürzen, da wir auf dieses Thema bei der Frage nach der Bestimmung der Stoßrichtung noch zurückkommen werden. Von den Wirkungen der Erschütterungen auf die Bodenverhältnisse haben wir schon einiges in den Berichten über die Vorgänge in Phokis und Kalabrien kennen gelernt; Felsenmassen lösen sich ab, es erfolgen gewaltige Bergstürze, bei denen allerdings der Erdbebenstoß wohl nur die letzte Veranlassung bietet, um die zum Abrutschen bereiten Massen in Bewegung zu bringen. Wohl das entsetzlichste Ereignis dieser Art war der Bergsturz des Dobratsch bei Villach in Kärnten. „Am 25. Januar 1348 war ein furchtbares Erdbeben, wie ein solches seit Menschengedenken nicht vorgekommen; Kirchen, Türme, Häuser stürzten ein, viele Personen wurden getötet. Besonders schrecklich waren die Verwüstungen in Friaul; der Palast des Patriarchen von Udine stürzte ein, es wurden die Kastelle von Tolmezzo, San Daniele Venfone und andere zerstört. In Venedig wurde der Canal grande trocken gelegt und viele Paläste umgestürzt, in Kärnten fanden mehr als 1000 Personen den Tod." So berichtet eine venezianische Chronik von 1607, und Schaubach sagt in seinem Werke über die Deutschen Alpen: „Der Bergsturz des Dobratsch gehört, so unbekannt er ist, zu den fürchterlichsten Erscheinungen dieser Art, und der große Bergsturz am Roßberg erscheint unbedeutend gegen diesen. Zwei Märkte und 17 Dörfer wurden begraben, das Gailthal zu einem See gedämmt, und nur mit Mühe konnte sich der Fluß eine Bahn durch die Trümmer brechen; noch jetzt sumpft das Thal aus dieser Ursache. Noch oft stößt man auf Häuser und in ihnen auf Gerippe." Unter den Erdbeben der neueren Zeit ragt namentlich das von Wernoje am 7. Juni 1887, dessen Epizentrum im hohen Gebirge des Hinterilischen Alatau (Turkestan) gelegen war (s. Karte, S. 298), durch die Großartigkeit der oberflächlichen Massenbewegung hervor. Im Thale des Ak-Dschar erfolgte ein ungeheurer Bergsturz, vielfach entstanden moränenartige Schuttwälle, und manche Thäler wurden durch Bergstürze, Schlamm- und Schuttströme um 40—60 m erhöht.

Eine andere wichtige Wirkung ist die Bildung von Spalten im Boden, welche bisweilen klaffend offen bleiben, bisweilen sich auch wieder schließen. Beim Erdbeben von Riobamba in Ecuador 1797 entstanden Spalten, die sich abwechselnd öffneten und schlossen, so daß, wie Humboldt berichtet, Menschen sich dadurch retteten, daß sie beide Arme ausstreckten, um nicht zu versinken. Besonders reich an derartigen Bildungen war, wie oben erwähnt, das kalabrische Erdbeben von 1783. Ganz ähnliche Erscheinungen zeigten sich an der achäischen Küste bei einem großen Erdbeben, das am 26. Dezember 1861 die Küste des Golfes von Korinth erschütterte. Wir besitzen darüber folgenden wertvollen Bericht von Julius Schmidt:

„Die merkwürdigste aller Erscheinungen fand ich diesmal in der großartigen Entwickelung der Spalten in Achaja und besonders in der Menge von sandigen, kraterartigen Kegeln, die nur im Gebiet der Spalten auftreten. Diese Bildungen sind wohl seit alters bekannt, aber selten richtig gedeutet worden. Man findet solche beschrieben in dem Hauptwerk über das kalabrische Erdbeben von 1783, und sie werden häufig noch später erwähnt bis auf unsere Zeit. Eine genaue Erörterung dieser Vorgänge scheint mir wünschenswert, um das Thatsächliche festzustellen und das Gebiet der Hypothese zu beschränken. Ich war vom Glück begünstigt, daß ich, wenn auch nicht auf dem Hauptschauplatz, sondern zu Kalamaki[1] am Saronischen Meerbusen, wenige Minuten nach dem Erdbeben und auf dem noch sinkenden Meeresstrand die Entstehung und Ausbildung der Spalten und Sandkrater in vielen zwar kleinen, aber höchst deutlichen Beispielen beobachten konnte. Es mochten 10—15 Minuten vergangen sein, als ich den südlichen Teil von

[1] Der Hafenplatz an der Ostseite des Isthmus von Korinth.

Kalamaki erreichte; der genannte Kai zieht von Südwest nach Nordost und endet gegen Norden an dem Molo. Zwischen dem Kai und der östlichen Häuserreihe zieht die breite Straße, die südlich im Sande der Küste endet. In dieser Straße, namentlich in ihrem südlichen Teile, wo schon am 21. Februar 1858 ähnliche Erscheinungen vorgekommen waren, bildeten sich Spalten, und hier war es, wo auch die stärkste Senkung des Hafendammes stattfand, dessen südliches Ende schon untergetaucht war, als ich hinkam. Mein Dragoman befand sich an jener Stelle mit vielen Leuten gerade im Beginn des Erdbebens, und alle sahen und fühlten die langsame und sanfte Senkung des Bodens. Später, als ich dieses Gebiet zeichnete, ehe es vom Verkehr undeutlich gemacht wurde, ließ sich das fernere Sinken nur noch durch Messung nachweisen, und gegen

Sandkrater und Spalten, entstanden nach dem achäischen Erdbeben vom 26. Dezember 1861. Im Hintergrunde ragen die Gipfel versunkener Bäume aus dem Wasser hervor. (Nach J. Schmidt.) Vgl. Text, S. 310.

10 Uhr morgens hörte die Bewegung auf. Die Spalten waren zahlreich, 30—40 Schritt lang, aber nur selten eine Spanne breit; sie waren nicht tief, sondern ausgefüllt mit flüssigem, blaugrauem Schlamm und Sand, so daß nach teilweisem Austritt dieser Materien sich kleine Pfützen gebildet hatten. Die mittlere Richtung der Spalten war Südost-Nordwest, ungefähr der dortigen Küste parallel; doch fehlte es nicht an stärkeren Krümmungen, und wo diese vorkamen, war die hohle Seite der Kurven gegen Westen gerichtet. In den feineren Spalten nun war es, wo sehr zarter weißer Sand bald in einzelnen Flecken, bald in größerer Erstreckung hervortrat. In vielen Fällen hatte es bei diesem Vorgange sein Bewenden; aber überall, wo Luftblasen aufstiegen, dem Geruch nach Schwefelwasserstoff enthaltend, war die Kraft der Blasen und des nachdringenden Seewassers und Schlammes groß genug, um kleine Sandkegel zu bilden, 1—5 Zoll breit, sehr flach geformt, mit kaum 20° geneigten Seitenflächen. An ihrem Gipfel platzten die Luftblasen, und so entstanden zierliche, kleine Krater, deren mitunter 2—4 oder auch noch mehr durch

einen Kanal verbunden waren. Oft floß Wasser heraus, oft auch weißer, salziger Schlamm. Das Thermometer, in die kleinen Krater gestellt oder in den Grund der Spalten sowie in das Meer, gab überall nur die Temperatur des Meeres. Bis gegen 11 Uhr, als ich abreiste, hörte die Bildung der Sandkegel bereits auf. Nach meiner Rückkehr im Januar sah man nur noch die Spuren der größeren Spalten.

„Unvergleichlich viel bedeutender waren die ähnlichen Erscheinungen in Achaja, zwischen der Mündung des Meganitas, westlich von Ägion, und der Mündung des Erasinos, östlich von Ägion, in einer Erstreckung von nicht ganz 3 geogr. Meilen; mehr als jede Beschreibung wird die Abbildung auf S. 309 das Verständnis dieser merkwürdigen Bodenveränderung fördern. Die ganze Ebene von Achaja ist flaches, angeschwemmtes Land, eine Deltabildung mehrerer Flüsse. Ausgenommen sind nur der felsige Vorsprung von Diakoptas und das Hügelgebirge, auf welchem Ägion liegt. Der Boden besteht aus Humus, Lehm, Sand und Gerölle, die von den Bergströmen herabgeführt werden. Der Sand ist weißer Sand und nur in der Nähe der Flußmündungen mit groben Geröllen gemischt. Das Ansteigen der Ebene gegen die Berge südwärts ist unbedeutend und mag 60—90 Fuß betragen. Indem jene Ebene sich im Laufe der Jahrtausende bildete, ein Produkt der aus dem Peloponnes herabkommenden Flüsse, hatte sie von Anfang an keine feste Verbindung mit den steil geneigten Abhängen der hohen Berge, welche die südliche Grenze der Ebene bilden. Sie war die Oberfläche einer mächtigen Schutthalde, deren Fuß im Grunde des Meeres stand, und die sich an die Flanken der Berge anlehnte. Die große Erschütterung des nahen Erdbebenherdes, die sehr ungleichförmige Fortpflanzung der Stoßwellen in heterogenen Ablagerungen bewirkten mit Leichtigkeit die Lostrennung der Alluvionenmasse von den geneigten Abhängen des Grundgebirges, so daß jene in eine abwärts gleitende Bewegung gegen Norden geriet. So entstand zunächst eine 13,000 m lange, bis 2 m und mehr breite Spalte, welche sich von Punta bis Gardena hart am Fuße der Berge hinzog. In dieser Bewegung der ganzen Ebene, indem sie sich bei der erwähnten Stelle 2 m und mehr senkte, neigte sie sich schwach gegen Norden, und es mußte notwendig ihr Küstensaum bleibend unter dem Meeresniveau verschwinden. Die Länge des untergetauchten Saumes wird auch annähernd 13,000 m betragen; die Breite desselben wechselt von 100—200 m und ist namentlich groß bei Diakophtitika und Taratza, dort, wo ehemals etwas nördlicher Helike lag, welche Stadt im Erdbeben 373 v. Chr. vom Meere verschlungen wurde. Gegen Westen nimmt die Breite des versunkenen Saumes ab, und ich schätze sie bei Temenion nur auf 10—20 m. Ich schließe, daß ungefähr 1,300,000 qm von dem Küstenstrich der Ebene verloren gingen. Der Raum, der vorwiegend von zahllosen Spalten zerrissen ward, umfaßt etwa 6½ qkm, die Fläche der ganzen gesunkenen Ebene etwa 13 qkm. Von 13 Dörfern, die auf diesem Gebiet lagen, wurden zwei vollständig zerstört, die meisten anderen schwer beschädigt, nur eins blieb fast unberührt. So ging einst Helike durch ein völlig ähnliches, nur viel gewaltigeres Ereignis zu Grunde, als durch ein Erdbeben die ganze Ebene in abwärts gleitende Bewegung geriet und die alte, schon von Homer erwähnte Seestadt mit allen ihren Bewohnern plötzlich ins Meer versenkte.

„Eine so große Masse, die sich auf stark geneigter, unregelmäßiger Fläche senkte, mußte vielfach zerreißen. Durch die ungleiche Bewegung der Teile mußten zahllose Spalten entstehen; diese waren im ganzen der Küste parallel sehr verzweigt und durch Querrisse mit benachbarten Spalten verbunden, dabei teilweise so breit, daß ich sie weder zu Fuß noch zu Pferd überschreiten konnte. Nie waren sie mehr als 4 oder 5 Fuß tief und stets mit Erde, Sand und Schlamm ausgefüllt. Es zeigte sich aber auch die vom kalabrischen Erdbeben her bekannte sternförmige Zerklüftung des Bodens in großen und ausgezeichneten Beispielen. Von einem 2—3 m breiten Loch aus erstrecken sich strahlenförmig gerade oder gewundene Spalten, die unter sich wieder

durch feine Querriſſe verbunden waren. Solche Stellen waren oft die Zentren der Sandkegel und Sandkrater.

„Verbunden mit dem eben beſchriebenen Hergange des ungleichförmigen Sinkens war ferner notwendig ein ungleicher, vielfach und raſch wechſelnder Druck, ſo daß alſo leichter bewegliche Maſſen, wie Waſſer, Schlamm und Sand, ſtark gequetſcht, genötigt waren, den Weg des geringſten Widerſtandes zu ſuchen, und ſo durch ſchon vorhandene oder momentan ſich bildende Spalten allein durch Druck oder Preſſung an die Oberfläche gelangten. War dieſer Druck ſtark und ſchnell, ſo konnten ſich Sand und Schlamm zu Kegeln auftürmen, und traten noch mächtige Waſſerſtrahlen und gewaltſam getriebene Gasmaſſen dazu, ſo kam es zur Bildung von Kratern auf dieſen Kegeln, an deren Gipfeln die flüſſige Maſſe ausgeworfen wurde. Daß dieſer Hergang ſo und nicht anders erfolgte, ſah ich, wie ſchon erwähnt, an kleinen Spalten und Sandkegeln zu Kalamaki; was ſich in Achaja im großen ereignete, war genau dasſelbe. Der Umſtand, daß ich bei keinem Kegel Neigungswinkel der Außenflächen von 30° fand, beweiſt, daß nicht nur ſehr feuchte Maſſen ausgetrieben wurden, ſondern daß die Krater auch Waſſer in Menge ergoſſen, wodurch die Steilheit der Kegel vermindert ward. In der öſtlichen Ebene zählte man die Kegel nach Hunderten; den Durchmeſſer des Fußes bei dem größten unter ihnen fand ich zu 20 m, deſſen ſchön erhaltener Krater aber war kaum 1 m breit; er war wenig tief, ſanft ausgehöhlt mit abgerundeten Rändern. Auf ſeinem Grunde zeigten ſich zwei Löcher von etlichen Zoll Durchmeſſer, und aus dieſen waren Rollſteine, ſchwarze Holzſtücke, Teile von Baumzweigen mit dem Waſſer aus dem Sande ausgeworfen worden. Weiter gegen Weſten nahm die Größe der Sandkegel ab, und die Krater wurden ſeltener, wobei jedoch zu beachten, daß dieſe Bemerkungen faſt einen Monat nach dem Erdbeben datieren. Bei Valomytika ſah ich am Orte des verſunkenen Strandes hohe Schilfhalme, Gartengeſträuch, Mandel- und Ölbäume aus dem Meere aufragen.“

Aus dieſer Darſtellung ſowie aus jener des Erdbebens von Kalabrien lernen wir die eigentümlichen Veränderungen kennen, welche bei heftigen Erdbeben im Boden entſtehen und namentlich da beſonders hervortreten, wo junge Anſchwemmungen den Boden zuſammenſetzen; eine vollſtändige Zerrüttung der oberflächlichen Lagen kann hier eintreten. Welche Bedeutung unter Umſtänden die Spalten und Abrutſchungen an denſelben annehmen, zeigt am beſten ein Ereignis, welches bei dem Erdbeben von Liſſabon am 1. November 1755 eintrat: „Ein an der Küſte neuerbauter Marmorkai ſank bei den Stößen mit einer großen Menge Menſchen, die auf demſelben Rettung geſucht hatten, in die Tiefe, und alle an demſelben vor Anker liegenden Fahrzeuge wurden mitgeriſſen; nie kam mehr etwas von denſelben zum Vorſchein. Die Tiefe des Meeres an der Stelle, wo der Kai eingeſunken war, fand ſich nach der großen Kataſtrophe zu 100 Faden (600 Fuß).“

Die kraterartigen Kegel, welche ſich, wie in Achaja und Kalabrien, öfters gebildet haben, verdienen noch eine beſondere Bemerkung. Auch bei dem Erdbeben in Agram trat die Erſcheinung in ſchwachem Maße ein und erregte nicht geringe Angſt, da die ohnehin ſchon durch die Stöße im höchſten Grade erregten Bewohner glaubten, daß ſich nun unter ihren Füßen ein Vulkan bilden und mit ſeinem Feuer alles verſchlingen würde. Trotzdem handelte es ſich in dieſem Falle wie immer nur darum, daß durch das Beben die Bodendecke zerriß und das unter ihr befindliche Grundwaſſer durch dieſelbe Erſchütterung zuſammen mit Sand und Schlamm hervorſpritzte. Die Erſcheinung der Sandkrater, Erdfalllöcher und Spalten wurde auch bei dem Erdbeben von Charleston beobachtet, und es wurde ſo viel Waſſer aufgepreßt, daß viele ſonſt im Sommer trockene Bachbetten ſich füllten. Bei dem Beben, welches die Landſchaft Keldu-hverfi in Island am 25. Januar 1885 betroffen hat, entſtanden Spalten, aus denen lehmiges Waſſer, Schlamm und ſelbſt größere Steine mehrere Klafter hoch herausgeſchleudert wurden.

Das Eis auf dem Vikingasee, welches eine Dicke von 1/2—3/4 Ellen hatte, wurde in unzählige Stücke zerrissen und diese als hohe Wälle an den Gestaden des Sees aufgetürmt. „Auf den flachen Sandstrecken des Vikingavatn wurde der Sand in 50—60 Klafter hohen Säulen emporgeworfen, wie bei einem Ausbruch; bei jedem Stoß begannen die Sanderuptionen im Osten und schritten nach Westen fort; gleichzeitig bildeten sich hohe Sandkrater, die sogleich darauf zusammensielen und verschwanden. Diese Sanderuptionen dauerten ungefähr 15 Minuten. Den nächsten Tag fanden sich auf den Sandflächen mehrere große Erdfalllöcher, deren größtes einen Umfang von 60—70 Faden hatte; diese Löcher waren halb mit Wasser angefüllt, ihre steilen Seiten waren ca. 3 Ellen hoch." (Thoroddsen.)

In großartigster Weise ist aber dieser Vorgang in Indien im Mündungsgebiet des Ganges und Brahmaputra beobachtet worden: „Am 2. April 1762 wurde ein großer Teil der Niederung von Chittagong im Osten bis weit gegen Westen und landeinwärts, insbesondere die Gegend von Dakka aufs heftigste erschüttert; die Wasser stürzten wie eine brausende See mit ihren Gerinnen über das Land, weit und breit öffneten sich Spalten, Wassermengen wurden viele Fuß hoch aus dem Boden emporgeworfen, und dabei sank das umliegende Land ein. Am 10. Januar 1869 trat ein heftiger Erdstoß in der Provinz Kachar östlich vom Brahmaputra ein und veranlaßte große Veränderungen in den Alluvien. Auf viele Quadratmeilen hin liegen hier 10—13 m von härterem Thon auf einer mit Wasser gesättigten Lage von blauem Silt. Nun sah man meilenweite Sprünge längs der Flüsse entstehen und ebenso meilenweit die obere Lage des Schwemmlandes auf der wasserreichen Unterlage gegen die Flüsse abgleiten. Der Silt drang durch die klaffenden Sprünge herauf; zuerst kam mit der Heftigkeit eines Kanonenschusses trockener Staub, so daß man wohl meinen konnte, es schieße Rauch empor, aber sofort folgte der zähe Schlamm, welcher eine Lippe um die Öffnung bildete und wohl auch abfloß. Als die Erschütterung vorübergegangen war, sah man den Alluvialboden von den großen Sprüngen durchzogen, welche an vielen Orten durch Senkung der einen Seite des durchschnittenen Landes zu wahren Verwerfungsklüften wurden und dann an der Oberfläche nur als niedrige Abstürze erschienen, und zwischen oder auf diesen Sprüngen standen runde oder elliptische kraterähnliche Öffnungen, oft umgeben von einem Wall von Sand und Schlamm. Bei vielen der größeren Öffnungen waren jedoch nach dem Hervorbrechen Sand und Schlamm wieder in die Öffnung zurückgeströmt und hatten dabei deren Kante mit hinabgerissen, so daß nur eine unregelmäßige, trichterförmige Tiefe zurückblieb." (Sueß.)

Wir haben hier mehrfach Senkungen als eine Folgeerscheinung von Erdbeben kennen gelernt; in der Regel wird jedoch auch das Auftreten von Hebungen großer Strecken als eine durch Erdbeben hervorgerufene Erscheinung angeführt. Beim chilenischen Erdbeben 1822 ebenso wie bei gewissen Vorgängen im Mündungsgebiet des Indus soll dies in sehr merklicher Weise der Fall gewesen sein. Diese Angaben sind mehrfach, z. B. von C. Fuchs, in Zweifel gezogen worden, und in jüngster Zeit hat Sueß zu zeigen gesucht, daß die Nachrichten über diese Hebungen unzuverlässig und widersprechend sind. Es liegt nur ein einziger verbürgter Fall vor, in welchem eine Hebung bei einem Erdbeben stattgefunden hat. Im Jahre 1848 entstand während eines Erdbebens an der Südküste der Cookstraße in Neuseeland eine Kluft von angeblich 96 km Länge. Die Erschütterungen wiederholten sich im Jahre 1855, und nun bildete sich eine 145 km lange, nach Nordnordosten streichende Spalte, an der sich das Land westwärts bis zu 2,74 m hob. Wir werden bei einem anderen Anlaß nochmals auf diese Frage zurückkommen müssen, hier mag nur ein Einwurf besprochen werden, der sich fast von selbst aufdrängt: Wir haben als eine sehr verbreitete Form der Erschütterungen die sukkussorische kennen gelernt, bei welcher ein von unten nach oben wirkender Stoß auftritt; es liegt nun die Annahme nahe, daß

wir es bei diesen Bewegungen mit einer nach aufwärts gerichteten hebenden Kraft zu thun haben. Diese Folgerung ist aber unrichtig. Denken wir uns im Gegenteil, daß bei dem Erdbeben eine Partie der Erdrinde absinkt, so werden wir an der Oberfläche nicht diese Bewegung nach abwärts als solche bemerken, sondern das Aufschnellen nach der Bewegung und dieses in Form eines senkrecht nach oben gerichteten Stoßes. Lasaulx führt hierfür einen sehr schönen Beleg an: In dem Kohlenwerk Königshütte in Oberschlesien waren aus einer Strecke die Kohlen in einer Mächtigkeit von 24 Fuß abgebaut worden, und durch Einsturz des entstandenen Hohlraums wurde eine mit Detonation verbundene Erschütterung hervorgerufen, die im Umkreis einer Stunde deutlich als Erdbeben empfunden wurde. In der unmittelbaren Umgebung des Schachtes aber sprangen einzelne Gegenstände in die Höhe „wie ein Ball".

Das in diesem Falle vernommene unterirdische Geräusch begleitet, wie schon in mehreren Berichten hervorgehoben ward, in der Regel die Erdbeben. Gewöhnlich wird dasselbe als ein Donner, als ein Rollen, geschildert, welches die Erschütterung begleitet, ihr vorangeht oder nachfolgt; das Geräusch wird gemeinhin tiefer, wenn es an Stärke zunimmt. Nach J. Milne sind die Bebengeräusche hauptsächlich auf die feinsten und schnellsten Erzitterungen zurückzuführen, wie solche die Erdbeben einzuleiten pflegen; daher geht der Beginn der Schallphänomene so häufig den Erschütterungen voraus. Wo Beben an Dislokations- oder Gleitflächen entstehen, können wir mit Davison annehmen, daß diese feinsten und schnellsten, den Schall verursachenden Schwingungen auch in jenen Endteilen der Dislokation hervorgerufen werden, wo das Gleiten selbst nur in minimalstem Maße stattfindet, und eine den Sinnen wahrnehmbare Erschütterung nicht eintritt. Auf dieses Verhältnis mag, wenigstens in manchen Fällen, der merkwürdige Umstand zurückzuführen sein, daß die Ausdehnung des Geräuschgebiets von der des eigentlichen Schüttergebiets ziemlich unabhängig ist. Dies kann bisweilen so weit gehen, daß man sehr lautes Geräusch dieser Art vernimmt, ohne daß eine nennenswerte, ja selbst die mindeste Bewegung des Bodens verspürt worden wäre. Ein solcher Fall wurde von P. Partsch in den Jahren 1822—26 auf der dalmatischen Insel Meleda beobachtet, deren Bewohner durch die häufigen und stets wiederkehrenden Detonationen in hohem Grade geängstigt waren. Das merkwürdigste Beispiel aber bilden die durch Humboldts Schilderung in weiten Kreisen bekannt gewordenen Bramidos (Gebrüll) von Guanaxuato in Mexiko: „Diese berühmte und reiche Bergstadt liegt weit von allen Vulkanen. Das Getöse dauerte seit Mitternacht des 9. Januars 1784 über einen Monat. Es war, als lägen unter den Füßen der Einwohner schwere Gewitterwolken, in denen langsam rollender Donner mit kurzen Donnerschlägen abwechselte. Das Getöse verzog sich, wie es gekommen war, mit abnehmender Stärke. Fast alle Einwohner verließen vor Schrecken die Stadt, in der große Massen Silberbarren angehäuft waren; die mutigeren kehrten, an den unterirdischen Donner gewöhnt, zurück und kämpften mit der Räuberbande, welche sich der Schätze bemächtigt hatte. Weder an der Oberfläche der Erde noch in den 1500 Fuß tiefen Gruben war irgend ein leises Erdbeben bemerkbar. In dem ganzen mexikanischen Hochland ist nie vorher ein ähnliches Geräusch vernommen worden, auch hat in der folgenden Zeit die furchtbare Erscheinung sich nicht wiederholt."

In neuerer Zeit ist wiederholt behauptet worden, daß Erdbeben auch von elektrischen und magnetischen Erscheinungen begleitet werden. Ein Teil davon ist gewiß nur auf mechanische Störungen zurückzuführen, ob aber außerdem noch eine selbständige Beeinflussung in dieser Richtung stattfindet, ist fraglich.

Seebeben.

Schiffe werden bisweilen auf offener See von mehr oder minder heftigen Bebenstößen betroffen. Nach den übereinstimmenden Berichten der Seefahrer gehen derartige Beben mit einem donnerartigen oder dumpfen unterseeischen Geräusch einher und erwecken eine ähnliche Empfindung, wie beim Auffahren auf eine Sandbank oder ein untiefes Felsenriff. Die Intensität der Erschütterung ist hierbei in manchen Fällen nicht stärker, als wenn der Anker fallen gelassen wird; bei stärkeren Stößen geraten die Schiffe ins Schwanken, Maste erzittern oder das Steuer wird heftig hin und her gestoßen, oder es werden selbst Menschen in die Höhe geschleudert. Stöße der stärksten Art können selbst Schiffe entmasten. Die Erschütterungen zeigen bald einen sukkussorischen, bald einen undulatorischen Charakter, bald dauern sie nur einen oder wenige Momente, bald mehrere Sekunden, ja selbst mehrere Minuten, in einem Falle sogar 30 Minuten. Die auffallendste Erscheinung aber besteht darin, daß häufig selbst die heftigsten Stöße vorübergehen, ohne die geringste Bewegung der ozeanischen Wassermasse angeregt zu haben. Vielleicht haben wir gerade diese als von eigentlichen Beben herrührend anzusehen, während jene Erschütterungen, bei welchen sich Wellenberge auftürmen und nach allen Seiten hin als hohe Wogen über den Ozean verbreiten, mit submarinen Eruptionen oder Explosionen in Verbindung stehen sollen.

Unsere Kenntnis der Seebeben rührt zumeist von zufällig davon betroffenen Schiffen her. Sie ist demgemäß überaus lückenhaft; von der erdrückenden Mehrheit der Fälle erhalten wir überhaupt keine Kenntnis, und nur selten ereignet es sich, daß dasselbe Beben von mehreren Schiffen wahrgenommen wird, wie das Beben am 22. Dezember 1884 zwischen Madeira und den Azoren. Durch genaue Vergleichung der vorhandenen Daten konnte E. Rudolph feststellen, daß sich dieses Beben in ausgesprochen linearer Richtung von den Azoren bis fast nach Madeira erstreckte. Ein kreisförmiges Schüttergebiet dagegen hatte das bengalische Beben vom 31. Dezember 1881 (s. Karte, S. 298), und hier verdanken wir dem Umstande, daß die Bebenwellen von den rings um den Meerbusen aufgestellten Flutmessern genau registriert wurden, namentlich sehr genaue Zeitangaben. Das Epizentrum des ungefähr 5 Millionen qkm umfassenden Schüttergebiets ist ungefähr in der Mitte des bengalischen Busens zu suchen, die Küstengebiete wurden daher von der Erschütterung nur in geringem Grade betroffen. Sehr beachtenswert ist die aus dem bisherigen statistischen Material hervortretende Thatsache, daß manche häufig befahrene Meeresteile von seismischen Erscheinungen frei sind, während andere, wie z. B. der Azorenrücken, die Gegend westlich von der portugiesischen Küste und die Region östlich vom St. Paul-Felsen, als habituelle Schüttergebiete zu bezeichnen sind.

Merkwürdig und sehr verschiedenartig sind die Bebenerscheinungen in küstennahen Regionen. In solchen haben sich wiederholt und zwar heftige Erdbeben ereignet, ohne besonders auffallende Fluterscheinungen im Gefolge zu haben. Für viele derartige Beben wurde der Herd in das Meer verlegt. So kommen etwa 80 Prozent der japanischen Beben vom benachbarten Meeresboden her, das ligurische Beben von 1887 hatte seine Ausgangspunkte im Meere, und auch das zantiotische Erdbeben von 1893 pflanzte sich vom Meeresboden auf die Insel fort. In anderen Fällen liegt der Herd am Lande, nahe der Küste, wie bei dem großen Erdbeben von Charleston in Südcarolina, 1886. Bei allen diesen Erschütterungen blieb das Meer entweder ganz unbeeinflußt, oder es war die erregte Flutbewegung nur geringfügig, wie bei dem ligurischen Beben.

Diese Erscheinungen stehen in auffallendem Gegensatz zu anderen Beben in küstennahen Gebieten, bei denen eine weit über den Ozean sich fortpflanzende und an fernen Küsten brandende

Wellenbewegung hervorgerufen wurde. Hierbei hat seit jeher namentlich der Umstand Befremden erregt, daß die großen Wellen meist erst mehrere Minuten, ja 1/4—1/2 Stunde nach den Hauptstößen eintreffen, und daß ihnen zumeist ein Rückzug des Wassers von der Küste vorausgeht. Bei dem Erdbeben von 1699 lag der Strand bei Catania auf eine Strecke von 2000 Klafter trocken, und bei anderen Erschütterungen sollen die trocken liegenden Strecken sogar noch bedeutend höher gewesen sein; erst nach längerer Zeit, in einem Falle nach 3 Stunden, kehrt das Wasser als riesiger Wellenberg zurück und ergießt sich über den Strand. Bei dem Beben von Concepcion in Chile 1835 dauerte der Rückzug des Meeres nach dem Hauptstoß eine halbe Stunde, dann kam eine 6—7 m hohe Welle, gefolgt zuerst von noch stärkeren, später von schwächeren Wellen; alle 20—30 Minuten brach aber wieder ein stärkerer Schwall herein, und erst nach drei Tagen war das Meer beruhigt. Bei anderen Stößen dagegen, z. B. dem von Arica 1873 und dem von Iquique in Peru 1877, ist jedoch konstatiert, daß das Meer zuerst anstieg, dann zurückebbte und nachher erst in zerstörenden Flutwellen über den Strand hereinbrach. Die Ursache dieser Verschiedenheit ist bisher noch nicht mit Sicherheit erkannt; es scheint aber, daß sich diese Schwierigkeit vielleicht etwas verringert, wenn wir die Rudolphsche Betrachtungsweise auch für die küstennahen Erscheinungen annehmen, indem wir in Fällen, wo heftige Flutungen eintreten, submarine Eruptionen voraussetzen und die Erschütterungen selbst als vulkanische Beben auffassen. Freilich ist nicht zu verkennen, daß der Charakter mancher dieser Beben keineswegs mit dem der vulkanischen übereinstimmt.

Bei einigen der verderblichsten Erdbeben wurden der meiste Schade und die größte Vernichtung von Menschenleben durch diese Fluten verursacht; so z. B. bei dem Erdbeben von Lissabon. Gleich nach dem ersten Stoße, der kurz vor der höchsten Flutzeit eintrat, erhob sich die Erschütterungswoge und stieg um 16, nach anderen um 40 Fuß höher als die höchste Mondflut. Wie im Anfang dieses Abschnitts geschildert wurde, richtete sie furchtbare Verwüstung an, und die Mehrzahl der zu Grunde gegangenen Menschen fand auf diese Weise den Tod; die Zahl der Toten wird auf 60,000(?) angegeben. Bei einem heftigen Erdbeben, das am 28. Oktober 1724 die Stadt Lima in Peru zerstörte, wurde gleichzeitig die Hafenstadt Callao von einer 80 Fuß hohen Woge überflutet, welche alle Gebäude niederriß und fast die ganze Einwohnerschaft vernichtete. Von 23 im Hafen liegenden Schiffen wurden 19 unmittelbar versenkt, während die übrigen 4 eine Stunde weit landeinwärts getragen wurden und dort auf dem Trocknen zurückblieben.

Außerordentlich groß ist die Verbreitung der Erdbebenfluten. Wie schon früher (S. 297) erwähnt, pflanzten sich die Wogen, die am 1. November 1755 an der portugiesischen Küste entstanden waren, über den ganzen Atlantischen Ozean nach Amerika fort; die Wellen der südamerikanischen Erdbeben setzen über den Stillen Ozean, erreichen einerseits die Küsten von Australien und Ostasien und reißen anderseits die Ränder des antarktischen Eiswalles auf, während die von Japan ausgehenden sich an der kalifornischen Küste brechen. Auf ungeheure Entfernung richten sie großen Schaden an, und wie oft mögen sie das furchtbarste Elend über die Einwohner der niederen Koralleninseln im Stillen Ozean bringen, deren nur wenige Fuß über das Meer sich erhebende Wälle von ihnen überflutet werden, ohne daß eine Kunde von diesen Katastrophen zu uns dringt!

Interessant sind die Untersuchungen über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit dieser Wogen. Genauere Studien liegen in dieser Beziehung von Hochstetter über das Beben von Arica 1868, von Geinitz und Milne über das Beben von Iquique 1877 vor, und noch genauere Angaben besitzen wir über die Flutwelle der im Vorhergehenden besprochenen Krakatau-Katastrophe. Hieraus ergibt sich als gut übereinstimmendes Resultat, daß die Geschwindigkeit bei einer Wassertiefe von 20—30 m kaum 20 m, bei 1000 m Tiefe etwa 100 m, bei 4000 m etwa 200 m per

Sekunde beträgt. Die beobachteten Fortpflanzungsgeschwindigkeiten können wiederum zur Berechnung der Tiefe des Ozeans verwendet werden. Die auf diese Weise berechneten Tiefen stimmen mit den gemessenen recht gut überein. Bei dem Beben von Arica langte die über den Stillen Ozean wandernde Welle an der Küste Neuseelands noch mit einer Höhe von 3 m an. Die Sandwich-Inseln wurden in $12^1/_2$ Stunden erreicht, während die Mondflut zur gleichen Strecke 13 Stunden braucht; die Geschwindigkeit der Seebebenwelle ist also fast genau gleich derjenigen der täglichen Mondflutwelle.

Die Sintflut.

Es mag hier gestattet sein, im Anschluß an die Betrachtung der Erdbebenwogen ein furchtbares Ereignis aus der frühen Geschichte der Menschheit zu besprechen, die Sintflut. In den Traditionen zahlreicher Völker hat sich die Erinnerung an diese heftigste Katastrophe erhalten, die je vorfiel, soweit die Überlieferung berichtet, und es kann wohl kein Zweifel darüber bestehen, daß diesen Berichten eine wirkliche Begebenheit zu Grunde liegt; aber ebenso sicher steht fest, daß eine Überschwemmung, die bis zu den höchsten Gipfeln der Berge alles bedeckte, ein Ding der Unmöglichkeit, daß die Form, in der uns allen jener Vorgang geläufig ist, eine unrichtige ist. Die Geologie hat sich mit dieser Frage in eingehendster Weise beschäftigt, ohne zu einem endgültigen Ergebnis zu gelangen, wenn man auch vielfach geeinigt war, das Abschmelzen der riesigen Gletschermassen am Ende der Eiszeit als Ursache einer gewaltigen Überflutung zu betrachten. In neuester Zeit hat E. Sueß dieses Problem von einem ganz anderen Gesichtspunkt aus wieder in Betracht gezogen und ist zu einer Lösung gelangt, welche sehr viel Wahrscheinlichkeit für sich hat.

Die meiste Ähnlichkeit mit dem biblischen Bericht hat die Darstellung der Flut, welche man auf den mit Keilschriften bedeckten Thonscherben der alten assyrischen Ruinenstädte gefunden hat. Die Ausgrabungen von Ninive haben diese kostbaren Ziegeltrümmer zu Tage gefördert, auf denen meist unter der Regierung des Assurbanipal im 7. Jahrhundert v. Chr. eine Reihe älterer Werke kopiert worden war. Unter anderem wurde ein in zwölf Gesängen abgefaßtes Epos entdeckt, das Izdubarlied, welchem die Erzählung der Sintflut als Episode eingefügt ist. Der Held Izdubar zieht nach der Mündung des Euphrat und Tigris hinab, wo sein zum Gott gewordener Ahn Hasis-Adra, der assyrische Noah, ein unsterbliches Leben führt, und dieser erzählt ihm die Ereignisse seines Lebens und seine Rettung aus der Flut: Die großen Götter haben beschlossen, die uralte Stadt Surippak, in der Nähe der damaligen, noch weiter landeinwärts gelegenen Euphratmündung, durch eine Flut zu vernichten. Ea, der Gott des Meeres, warnt Hasis-Adra und heißt ihn auf trockenem Lande ein Schiff bauen und all sein Hab und Gut, Proviant, seine Familie, Vieh und Wild hineinbringen. Nach einiger Weigerung baut Hasis-Adra das Schiff, dichtet die Außen- und Innenseite mit Erdpech, befrachtet es mit seinen Schätzen, mit verschiedenen Tieren und mit Korn und zieht sich mit den Seinen in dasselbe zurück. Nun erheben sich Sturm und Ungewitter, Wasser bricht aus der Erde hervor, und der Wettergott bringt die Fluten; Finsternis tritt ein, sechs Tage und sieben Nächte dauert die Verwüstung. Endlich läßt der Sturm nach, es wird wieder hell, und das Wasser verläuft sich, das Schiff aber strandet an den die Tiefebene Mesopotamiens umsäumenden Höhen von Nizir, einer südöstlich von Ninive gelegenen Landschaft. Dann sendet Hasis-Adra wie Noah Vögel aus, der große Gott Bel schwört, keine Sintflut mehr eintreten zu lassen, die Göttin Istar hebt zur Bekräftigung den großen Bogen des Ani in die Höhe (die Erscheinung des Regenbogens) ꝛc.

Die Übereinstimmung zwischen dem Bericht der Bibel und demjenigen des Izdubarliedes ist eine so außerordentlich große, daß beide aus derselben Quelle geschöpft sein müssen, oder der eine offenbar aus dem anderen hervorgegangen ist, und es entsteht nun die Frage, welche von beiden die ursprünglichere sei, die hebräische Überlieferung aus dem Jordanthal oder die assyrische aus den Niederungen des Euphrat. Für die letztere spricht schon das Fehlen jener unmöglichen Angaben von der Überflutung der höchsten Berge und ferner die darin bekundete bessere Bekanntschaft mit der Schiffahrt. Zudem zeigt das Izdubarlied eine deutliche Lokalfarbe: es bezieht sich vielfach auf Orte und Verhältnisse des Euphratthals, während dem biblischen Bericht ein Anklang an Palästina fehlt; von Bedeutung aber ist es, daß die Überlieferung von Noah Züge enthält, welche augenscheinlich aus Mesopotamien herübergenommen sind. Hasis-Adra hat sein Schiff außen und innen mit Erdpech gedichtet, und auch von Noah wird dasselbe erzählt. Es muß sehr auffallen, daß dieser nebensächlich scheinende Umstand in beiden Urkunden ausdrücklich betont wird; ja, es wäre kaum verständlich, wenn eine gewöhnliche Schiffszimmerung vorläge. Die Bedeutung wird uns aber sofort klar, wenn wir den Bericht des Reisenden Cernik lesen, wonach noch heute am Euphrat die zum Petroleumtransport dienenden Schiffe so gebaut werden: „Man begnügt sich, ein rohes Korbgeflecht zu erzeugen, ohne Kiel, mit Tamariskenknüppeln als Rippen, die Zwischenräume mit Stroh- und Rohrgeflecht ausgefüllt und der ganze Bau sodann über Gebühr sowohl außen als innen mit einer Lage Asphalt verputzt. Nichtsdestoweniger besitzen diese Fahrzeuge ein bedeutendes relatives Tragvermögen." Die Schiffe werden dort also noch heute in derselben Weise erbaut wie vor Jahrtausenden, und noch heute wird das wichtige Material dazu den reichen Asphaltlagern jener Gegend entnommen, die schon für die Bauten Nimrods das Bindemittel geliefert haben. Aus all dem und einer Reihe ähnlicher Anhaltspunkte erhellt, daß die assyrische Überlieferung die ursprüngliche ist, aus der die biblische entlehnt wurde, und daß der Schauplatz der Katastrophe in den weiten Niederungen des Euphrat und Tigris gesucht werden muß.

Nachdem dieses Resultat erzielt ist, stellt sich die zweite Frage ein: Welche Naturerscheinungen brachten jene Überschwemmung hervor? Man könnte an heftige Regengüsse denken, welche ein beispielloses Anschwellen der Flüsse verursachten, wodurch in jener weiten Tiefebene, wo auf große Strecken kein Hügel und kein Berg eine Zuflucht gewährt, die furchtbarsten Verwüstungen entstehen mußten. Allein dem widerspricht eine Thatsache: eine solche Flut müßte natürlich in ihrem ganzen Verlauf von oben nach unten gerichtet gewesen sein, sie müßte das Schiff des Hasis-Adra in den Persischen Meerbusen hinausgetragen haben, während es in Wirklichkeit von dem nahe der Mündung gelegenen Surippak weit landeinwärts getrieben wurde. Die Richtung der Strömung ging also nicht thalabwärts, sondern sie kam vom Meere gegen das Land. Es ist dabei zu bemerken, daß auch im biblischen Bericht die Ankündigung der Flut eine ebensolche Deutung zuläßt. Sie lautet zwar nach der gewöhnlichen Übersetzung: „Ich will eine Sintflut mit Wasser kommen lassen"; allein nach dem hebräischen Text ist die Deutung ebenso zulässig, welche sagt: „Eine Sintflut vom Meere her".

Wenn die Flut vom Meere herkam, so ist der Bereich der Möglichkeiten schon bedeutend eingeengt, denn wir kennen nur zwei Faktoren, welche im stande sind, das Wasser des Meeres in so gewaltigen Massen landeinwärts zu treiben, daß sie Verwüstungen der schrecklichsten Art anrichten: die eine Möglichkeit bieten die Erdbebenwogen, die wir besprochen haben; aber noch verderblicher in ihren Wirkungen sind die Wirbelstürme in den tropischen und subtropischen Regionen, wenn sie ungeheure Wassermassen gegen flache Küsten treiben und in den Mündungen großer Flüsse das Wasser stauen. Solche Ereignisse treten z. B. nur zu häufig ein, wenn ein Cyklon sich durch den Golf von Bengalen nach Norden bewegt und sich auf das Delta des Ganges

und Brahmaputra stürzt. Bei einer derartigen Sturmflut, welche in der Nacht vom 11. auf den 12. Oktober 1737 losbrach und mit einem Erdbeben in Verbindung stand, soll sich das Wasser des Ganges 12,1 m über seinen gewöhnlichen Stand erhoben und die Zahl der Ertrunkenen gegen 300,000 betragen haben. Noch die letzten Jahre brachten ein Ereignis von ähnlich furchtbaren Folgen, über das man in weiteren Kreisen nur wenig erfahren zu haben scheint. In der Nacht vom 31. Oktober zum 1. November 1876 erreichte ein äußerst heftiger Wirbelsturm die Mündung des Brahmaputra, gerade nachdem im Laufe der Nacht eine außergewöhnlich hohe Springflut eingetreten war, deren Wasser eben zurückebbte. Die Sturmwoge und die noch nicht abgeflossenen Wasser der Mondflut vereinigten sich und wurden mit furchtbarer Gewalt landeinwärts getrieben, so daß ein Raum von 141 geogr. QMeilen 13,7 m hoch überschwemmt und von einer Bevölkerung von etwa einer Million Menschen nach dem einen Bericht 215,000, nach dem anderen 100,000 ertränkt wurden. Die übrige Bevölkerung scheint der vollständigen Vernichtung nur dadurch entgangen zu sein, daß sie sich auf hohe Bäume flüchtete, die in jener Gegend alle Häuser umgeben.

Wenn wir nun weiter prüfen, welcher Ursache die Sintflut zuzuschreiben ist, so finden wir zunächst in dem Izdubarlied die wichtige Andeutung, daß Hasis-Adra von Ea, dem Gott des Meeres und der Tiefe, gewarnt wird und auf dessen Veranlassung ein Schiff baut. Dies ist wohl nur so zu verstehen, daß der Hauptkatastrophe eine Periode schwächerer Erdbeben voranging, welche leichtere Fluten veranlaßten und Hasis-Adra auf die glückliche Idee brachten, sich ein Schiff zu bauen, um sich im Falle einer stärkeren Wiederholung hinein flüchten zu können. Die Annahme der Mitwirkung von Erdbeben und von Grundwasserausströmungen, wie man sie so häufig als Folgeerscheinungen der ersteren in den Anschwemmungsgebieten von Strömen beobachtet, wird lebhaft unterstützt durch eine Stelle aus dem Izdubarepos, welche nach der älteren Übersetzung lautet: „Adar läßt unaufhörlich die Kanäle überströmen, Annunaki (Geister der Tiefe) bringen Fluten herauf, die Erde machen sie erzittern durch ihre Macht.“ Nach neueren Angaben soll diese Lesart allerdings nicht richtig sein; allein auch in diesem Falle würde eine wesentliche Änderung in der Deutung jener Vorgänge nicht vorzunehmen sein, denn auch der biblische Bericht lautet: „Der Tag, da aufbrachen alle Brunnen der Tiefe.“

In den Überlieferungen ist ferner die Rede von heftigem Sturm und Finsternis, wie sie bei Cyklonen oft eintritt, so daß man die hervorragende Mitwirkung meteorologischer Faktoren voraussetzen muß. In der That sind einige Fälle bekannt, in denen Erdbeben mit Cyklonen oder sonst mit sehr heftigen Stürmen gleichzeitig eingetreten sind. Wir werden weiterhin sehen, daß ein Zusammenfallen von Erdbeben mit tiefen Barometerständen und den sie begleitenden Witterungserscheinungen zu häufig eintritt, als daß ein Zusammenhang beider geleugnet werden könnte, wobei allerdings der niedrige Luftdruck nicht als die Ursache, sondern nur als der letzte Anstoß betrachtet werden kann, der das labile Gleichgewicht von Teilen der Erdrinde aufhebt, im übrigen aber keine größere Rolle spielt als der Funke, der die längst vorbereitete Mine zum Explodieren bringt.

Wir sind dem Gedankengange gefolgt, durch welchen Sueß die furchtbare Katastrophe erklärt, deren Überlieferung für die gesamte Anschauung eines großen Teiles der Menschheit von weittragender Bedeutung geworden ist und auch auf die Entwickelung der Geologie einen ungeheuern Einfluß ausgeübt hat. Die Ergebnisse seiner Untersuchung faßt Sueß in den folgenden Worten zusammen:

„1) Das unter dem Namen Sintflut bekannte Naturereignis ist am unteren Euphrat eingetreten und war mit einer ausgedehnten und verheerenden Überflutung der mesopotamischen Niederung verbunden.

„2) Die wesentlichste Veranlassung war ein beträchtliches Erdbeben im Gebiet des Persischen Meerbusens oder südlich davon, welchem mehrere geringere Erschütterungen vorausgegangen sind.

„3) Es ist sehr wahrscheinlich, daß während der Periode der heftigsten Stöße ein Cyklon aus dem Persischen Golfe von Süden her eintrat.

„4) Die Traditionen anderer Völker berechtigen in keiner Weise zu der Behauptung, daß die Flut über den Unterlauf des Euphrat und Tigris hinaus oder gar über die ganze Erde gereicht habe.

„In schlichten Worten stellen sich dem Geologen die Hauptzüge etwa in folgender Weise dar: In einer andauernden seismischen Phase mag durch Erdstöße zu wiederholten Malen das Wasser des Persischen Meerbusens in das Niederland des Euphrat geworfen worden sein. Durch diese Fluten gewarnt, baut ein vorsichtiger Mann, Hasis-Adra, d. h. der gottesfürchtige Weise, genannt, ein Schiff zur Rettung der Seinigen und kalfatert es mit Erdpech, wie man heute noch am Euphrat zu thun pflegt. Die Bewegungen der Erde nehmen zu; er flüchtet mit den Seinigen in das Schiff; das Grundwasser tritt aus dem geborstenen Flachland hervor; eine große Depression des Luftdrucks, bezeichnet durch furchtbaren Sturm und Regen, wahrscheinlich ein wahrer Cyklon, vom Persischen Meerbusen hereintretend, begleitet die höchsten Äußerungen seismischer Gewalt; das Meer fegt verheerend über die Ebene, erhebt das rettende Fahrzeug, spült es weit landeinwärts und läßt es an jenen Vorhügeln stranden, welche unterhalb der Mündung der Kleinen Zab die Niederung des Tigris nach Norden und Nordosten umgrenzen."

Ursachen der Erdbeben.

Über die Ursachen, welche die Erdbeben bedingen, ist seit den ältesten Zeiten bis auf unsere Tage eine große Menge verschiedener Hypothesen und Theorien aufgestellt worden. Eine naive Anschauung sieht in den Erschütterungen eine unmittelbare Einwirkung übernatürlicher Kräfte, oder sie greift nach fabelhaften Vorstellungen und nimmt an, daß eine Schildkröte oder ein Walfisch unter dem Boden durchkrieche, wodurch die Erschütterung erzeugt werde. Besseren Grund finden wir in den Anschauungen der alten Philosophenschulen, die ohne bedeutende empirische Unterlage teilweise haltbare Ideen aussprachen. Wenn die einen die Erdbeben auf den Einsturz von Hohlräumen zurückführen, die anderen lediglich dem Wasser, die dritten einem inneren Erdfeuer die Entstehung dieser Erscheinungen zuschreiben, so finden wir hier schon die meisten neueren Anschauungen vorgebildet. Beim Wiederaufleben der Naturwissenschaften und speziell der Geologie nach dem langen Schlaf im Mittelalter traten auch die Erdbebenhypothesen in reichlichem Maße hervor. Es mag uns erspart bleiben, alle jene Vermutungen aufzuzählen, die heute als definitiv überwunden betrachtet werden dürfen, und wozu auch die Perreysche Hypothese gehört, welche in einer Ebbe- und Flutbewegung des flüssigen Erdkernes die wahre Ursache sah; wir beschränken uns auf jene Erklärungsversuche, welche noch heute von Bedeutung sind.

Unter diesen machen vor allem drei Auffassungen Anspruch auf Berücksichtigung; die eine stützt sich auf die auslaugende Thätigkeit des Wassers, welche Hohlräume und durch deren Einsturz Erschütterungen hervorruft, die andere sieht die Erzeuger der Erdbeben in vulkanischen Vorgängen an der Oberfläche oder in der Tiefe, während die dritte den Zusammenhang zwischen dem geologischen Bau der Gegenden in erster Linie betont und die Stöße und Schwankungen des Bodens wenigstens der Mehrzahl nach mit dem großen Prozeß der Oberflächengestaltung unseres Planeten in Verbindung bringt und sie als eine spezielle Äußerung der gebirgsbildenden Kraft betrachtet.

Nur wenige Geologen werden heute noch daran zweifeln, daß Erdbeben auf sehr verschiedene Weise entstehen können, und daß jede der angegebenen Ursachen wirksam ist. Meinungsverschiedenheiten bestehen, wenigstens der Hauptsache nach, nur bezüglich der Ausdehnung, in welcher jeder der drei Faktoren in Thätigkeit tritt. Es ist eine unzweifelhafte Thatsache, daß das Wasser, welches durch den Boden sickert, Bestandteile desselben auflöst und fortführt. Am intensivsten ist dies der Fall, wo Gipsstöcke der auslaugenden Wirkung ausgesetzt sind, ferner im Kalkgebirge, wo bekanntlich das Vorkommen von Höhlen und trichterförmigen Einsenkungen, „Dolinen", häufig ist. Hohlräume, die auf diesem Wege entstanden sind, werden im Laufe der Zeit einstürzen und, wie wir es oben (s. S. 313) an dem Zusammenbruch einer abgebauten Strecke in dem Kohlenwerk Königshütte gesehen haben, ein Erdbeben verursachen.

Man hat diese Art von Erschütterungen als Einsturzbeben bezeichnet, doch faßt dieser Ausdruck ihr Wesen nicht ganz richtig auf, denn auch viele von den Stößen, die man mit der Gebirgsbildung in Zusammenhang bringt, müssen auf Einsturz zurückgeführt werden; der Unterschied liegt nur in der Art und Weise, wie sich der Hohlraum gebildet hat. In unserem Falle ist er durch Auflösung des früher vorhandenen Materials in Wasser entstanden; man würde diese Bewegungen also, wenn ein kurzer Name für sie gegeben werden soll, etwa als Auswaschungsbeben bezeichnen können. Die auf diese Weise entstehenden Erschütterungen können unter Umständen innerhalb engster Grenzen in hohem Grade heftig und zerstörend wirken; man kennt aus dem Karstgebiet Fälle, in welchen mehrere Häuser samt ihren Einwohnern dabei in die Tiefe stürzten und begraben wurden. Aber anderseits können sie der Natur der Sache nach nur ganz lokale Phänomene darbieten, die, durch den Einsturz einer einzelnen Höhlung hervorgebracht, sich nicht weit über den Ort der Entstehung ausbreiten. Für große, weitverbreitete Erscheinungen können wir diese Entstehungsweise nicht annehmen.

Den vulkanischen Kräften wurden seinerzeit nahezu alle Erdbeben zugeschrieben. Daß auch sie eine derartige Wirkung ausüben, kann niemand bezweifeln. Häufig genug kann man auf dem Kegel eines in starker Thätigkeit befindlichen Vulkans beobachten, wie mit oder vor jedem der oft in sehr kurzen Zwischenräumen erfolgenden Auswürfe von Schlacken ein Erzittern des Kraterbodens erfolgt; und in dieselbe Kategorie gehören jene oft furchtbaren Stöße, welche vor dem Beginn großer Eruptionen den Feuerberg und seine Umgebung erschüttern. Es sind die Wirkungen von Gasexplosionen, welche die auf ihnen lastenden Massen noch nicht haben überwältigen können. Wie heftig diese Bewegungen aber auch sein mögen, sie haben doch, obgleich sie nicht von so engen räumlichen Grenzen umzogen sind wie die Auslaugungsbeben, keine sehr große Verbreitung. In der Praxis wird diese Art der Erschütterung, die wir Explosionsbeben nennen wollen, nicht scharf von solchen zu scheiden sein, die von größerer Verbreitung sind und mit Vulkanausbrüchen in zeitlicher und räumlicher Verbindung stehen, ohne daß wir in den letzteren die Ursache der ersteren zu sehen berechtigt wären. Sehen wir z. B. in einem Gebiet Erdbeben und Vulkane gleichzeitig auftreten und eine unverkennbare Beziehung in der Thätigkeit beider, so könnten wir geneigt sein, die Gesamtheit als eine Wirkung der Vulkane zu betrachten. Wenn wir jedoch die ganze geologische Anordnung der Region betrachten und dann andere Gegenden ins Auge fassen, so finden wir, daß anderwärts stellenweise unter gleichen geologischen Verhältnissen die Erdbeben in derselben Weise auftreten, ohne von eruptiven Erscheinungen begleitet zu sein, und wir müssen daraus schließen, daß beide nicht in direktem Kausalzusammenhang stehen, sondern auf eine gemeinsame dritte Ursache zurückzuführen sind.

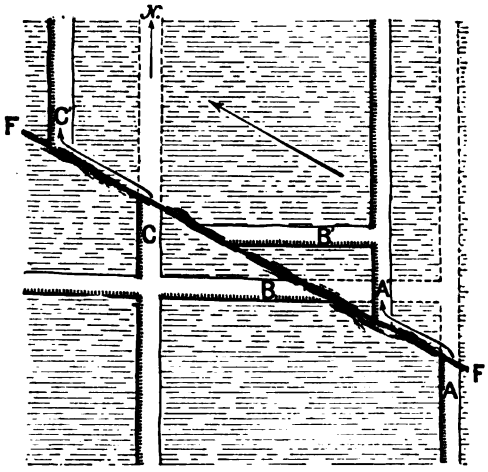
Diese Ursache ist in jenen Vorgängen zu suchen, welche größere Veränderungen in der Massenlagerung der Erdkruste hervorbringen; sie hängen mit dem Gebirgsbau, mit der Entstehung von Störungslinien zusammen, weshalb man sie tektonische Beben, Struktur- und

Dislokationsbeben genannt hat. Diese Namen sind ganz bezeichnend, nur darf man nicht glauben, daß damit eine den Auslaugungs- und den Explosionsbeben etwa gleichwertige Abteilung geschaffen sei. Die beiden letzteren stellen zwei Spezialfälle lokal beschränkter Erschütterung dar; sie verschwinden aber gegen die außerordentliche Mehrzahl und Bedeutung der tektonischen Beben, welche an sich wieder eine große Mannigfaltigkeit verschiedener Erscheinungen umschließen, die zu sondern und zu untersuchen notwendig wird. Die Beziehungen, welche die Lage von häufig erschütterten Gebieten und Vulkanen zu dem Verlauf der Gebirgsketten und zu den an ihren Rändern auftretenden Tiefebenen oder Meerbuchten hat, sind den Geologen schon seit langer Zeit auf-

Erdbebenspalte in Nibori, Japan. (Nach B. Kotô.) Vgl. Text, S. 322.

gefallen; aber erst in neuerer Zeit hat man diesen Vorkommnissen die nötige Aufmerksamkeit zugewendet und sie in ihren Einzelheiten verfolgt. Es ist speziell ein Verdienst von Sueß, diese Richtung eingeschlagen und in ihrer konsequenten Verfolgung einen wesentlich umgestaltenden Einfluß auf die Betrachtung von Erdbeben, Vulkanen und Gebirgsbildung ausgeübt zu haben. Insbesondere sind die Kettengebirge und ihre Umgebung die Hauptheimat der Erdbeben; bald bewegen sich diese auf Querspalten, welche das Gebirge schneiden, bald zeigen sie sich da am heftigsten, wo Stücke aus Gebirgen herausgebrochen sind und sich kesselartige Ausbuchtungen finden, bald in jenen großen, in Senkung befindlichen Gebieten, die sich an den Steilabfall der Ketten anzulegen pflegen, wie z. B. die Po-Ebene in Italien. Diese enge Verknüpfung mit den Störungslinien, längs deren die Verschiebungen und Bewegungen der Gebirge und der Erdrinde überhaupt vor sich gehen, hat zu der Überzeugung geführt, daß die sogenannten tektonischen Beben nichts anderes sind als die an der Oberfläche fühlbaren Spuren einzelner verhältnismäßig leichter Vorgänge dieser Art.

Höchst merkwürdige Belege für die Richtigkeit dieser Auffassung sind in neuester Zeit aus Asien beigebracht worden. Wohl enthält die Litteratur einige Angaben über Dislokationen bei Erdbeben, aber teils halten diese einer strengeren Prüfung nicht stand, teils lassen sie sich überhaupt nicht mit genügender Sicherheit beurteilen. Von um so größerer Wichtigkeit ist die Thatsache, daß bei dem großen mitteljapanischen Erdbeben vom 20. Oktober 1891, welches über 7279 Menschen den Tod gebracht und viele blühende Ortschaften gänzlich verwüstet hat, eine geradlinige, Berg und Thal durchsetzende und mehr als 40 englische Meilen lange Verwerfungsspalte nachgewiesen wurde. B. Kotô hat diese wunderbare Erscheinung mit allen Details genau aufgenommen (s. Abbildung, S. 321). Die Spalte erstreckt sich in nordwestlicher Richtung durch das Neo-Tal bis zum Haku-san und von hier bis Fukui in der Provinz Echizen und durchschneidet unter einem spitzen Winkel die Streichungsrichtung des Gebirges. Meist ist das Land nordöstlich der Verwerfung bis zu dem Betrag von 6 m abgesunken, und nur an einer Stelle, und zwar gerade bei Midori, ist es gehoben. Mit der Spaltung war auch eine Verschiebung um 1—4 m in horizontaler Richtung gegen Nordwesten verbunden, was sich besonders an jenen Stellen deutlich nachweisen läßt, wo Wege, Gräben oder mit Bäumen bestandene Felder von der Dislokation geschnitten werden (s. nebenstehende Abbildung). Im lockeren Alluvialboden ist die Spalte auf der Erdoberfläche weithin mit abgestoßenen Erdschollen bedeckt; sie sieht aus wie mit einer riesigen Pflugschar aufgeworfen oder wie der Gang eines riesenhaften Maulwurfs, und Kotô fühlte sich beim Anblick dieser Erscheinung lebhaft an die alte Sage seines Volkes erinnert, welche die Erdbeben den Bewegungen eines unterirdisch lebenden ungeheuern Haifisches oder eines wunderlichen Rieseninsekts zuschreibt.



Verschiebung an der Erdbebenspalte von Midori, Japan: A, B, C Wege vor, A', B', C' nach der Verschiebung; F F Spalte. (Nach B. Kotô.)

Die Annahme ist sehr naheliegend, daß es derartige Erscheinungen früherer Jahrhunderte waren, welche diese phantastischen Anschauungen angeregt haben. Die Neo-Spalte bildet zugleich die Zone der furchtbarsten Verwüstungen; sie markiert den Verlauf des nur ungefähr 10 km breiten, aber mehr als fünfmal so langen, bandartigen Schüttergebiets, und so kann es keinem Zweifel unterliegen, daß sie nicht als Folge, sondern bestimmt als die Ursache des Erdbebens zu betrachten sei. Das mitteljapanische Beben von 1891 aber wird für alle Zeiten ein klassisches Beispiel eines Dislokationsbebens bleiben.

Übrigens bietet es auch in anderer Beziehung viel Interesse dar. Es ist eins jener Beben, von denen wir mit einiger Sicherheit annehmen können, daß sie durch die damit verbundene Erschütterung ein zweites Erdbeben, ein sogenanntes Relaisbeben, wachgerufen haben. Gleichzeitig mit dem großen Erdbeben in Mino und Owari wurde nämlich die Gegend von Hikone am Biwa-See erschüttert, obwohl ein großer breiter Landstrich zwischen beiden Gebieten sehr schwach seismisch erregt war. Vermutlich bestand in der Erdkruste am Biwa-See irgend eine Spannung, und diese konnte durch die ausklingende Wellenbewegung der ersteren Erschütterung zur Auslösung gebracht worden sein.

Eine ähnliche, wenn auch nicht so drastische Dislokationsbewegung an einer Spalte war es, welche am 20. Dezember 1892 das Erdbeben von Quetta in Belutschistan verursacht hat. Die

Spalte entstand am Westfuß des Kadschak-Gebirges und parallel mit diesem und konnte 20 km weit verfolgt werden. Da, wo sie zwischen Sanzal und Alt-Tschaman die Eisenbahnlinie unter einem Winkel von 15—20° schneidet, wurden die Schienen nach Osten geknickt (s. untenstehende Abbildung), und als man sie durch neue ersetzte, fand man die Linie um ca. 80 cm verkürzt. Es hatte eine Horizontalverschiebung stattgefunden, und gleichzeitig hatte sich der Boden westlich der Spalte um 20—30 cm gesenkt. Die Bewegungserscheinungen waren also ganz ähnlich wie bei dem mitteljapanischen Erdbeben, nur etwas weniger groß; daher war auch die Wirkung, obschon an sich intensiv genug, doch weniger verheerend als bei dem japanischen Beben. Ähnliche Verbiegungen der Schienenstränge wurden von Dutton aus dem epizentrischen Gebiet des Charlestoner Bebens beschrieben, aber als Folgeerscheinungen aufgefaßt.

Schienenverbiegung infolge von Horizontalverschiebung durch Erdbeben bei Sanzal 1892.
(Nach C. L. Griesbach.)

Ein richtiges Verständnis der Dislokationsbeben ist nur möglich, wenn sie im Zusammenhang mit der Gebirgsbildung und dem Gebirgsbau begriffen werden; wir brechen daher hier ab, um später wieder auf den Gegenstand zurückzukommen.

Untersuchungsmethoden.

Nachdem wir die allgemeine Erscheinungsweise und die Ursachen der Erdbeben kennen gelernt haben, wenden wir uns nun der Betrachtung jener Untersuchungsmethoden zu, welche die Geologie beim Studium der Erscheinungen anwendet. Man hat dazu die verschiedensten Wege eingeschlagen, indem man bald Erdbebenkataloge anlegte, bald aus den Zeitangaben über das Auftreten eines und desselben Bebens an verschiedenen Punkten die Lage des Herdes und

seine Tiefe unter der Oberfläche zu ermitteln suchte, bald auch für die genaue Feststellung der Art der Bewegung die hinterlassenen Zerstörungsspuren für geeigneter hielt. Ferner hat man sich daran gemacht, den seismischen Zustand des Erdbodens mit Hilfe selbstregistrierender Apparate, der Seismometer, einer ständigen Beobachtung zu unterziehen, und man hat es endlich versucht, die Verbreitung der einzelnen Erdbeben mit den großen Grundlinien des Gebirgsbaues in Verbindung zu bringen und dadurch nachzuweisen, daß beide in innigem ursachlichem Zusammenhang stehen.

Der statistische Weg ist wohl zuerst und am häufigsten betreten worden, wenn auch ein großer Teil der erzielten Resultate von sehr zweifelhaftem Werte ist. In der Hand desjenigen, welcher mit der richtigen und vorsichtigen Behandlung der Statistik nicht vollständig vertraut ist, bietet diese Methode an sich schon allzu vielen Anlaß zu Irrtümern, selbst bei vollständigem Zahlenmaterial; wenn wir aber bedenken, daß unsere Listen gewiß nicht den tausendsten Teil der Stöße verzeichnen, die überhaupt vorkommen, so wird man um so mißtrauischer sein müssen. Es gilt das zunächst von jenen Verzeichnissen, welche aus allen Gegenden der ganzen Erde die Nachrichten von Erdbeben meistens nach Zeitungsmitteilungen zusammentragen, und in denen natürlich die Ereignisse der winzigen europäischen Area an Zahl weitaus überwiegen. Es ist klar, daß jeder Versuch vergeblich ist, auf solcher Basis Gesetze abzuleiten, welche für die ganze Erde Gültigkeit haben. Von viel größerem Wert als die ganze Erde umfassende Verzeichnisse sind jene Spezialkataloge, die von einzelnen Forschern für die nähere Umgebung ihres Wohnorts zusammengestellt worden sind. Unter ihnen ist namentlich jenes Verzeichnis hervorzuheben, welches Julius Schmidt in Athen für Griechenland und die ganze Umgebung des Ägäischen Meeres gesammelt hat. Aus dieser Zusammenstellung sowie aus den Katalogen von Perrey und Fuchs schien sich eine gewisse Beziehung zwischen den Phasen des Mondes und dem Eintreten der Erdbeben zu ergeben, und speziell sollten mit den Zeiten des Vollmonds und des Neumonds zahlreiche Erdbeben zusammenfallen.

Gegenwärtig hält man dies mit gutem Grunde durchaus nicht für erwiesen; hat doch erst kürzlich Montessus de Ballore, auf Grund eines viel reicheren Materials als je vorher vorgelegen hatte, gefunden, daß keinerlei Zusammenhang zwischen der Bebenhäufigkeit und den Kulminationen des Mondes erkennbar sei; aber selbst wenn dieser Beweis erbracht wäre, so dürfte man daraus doch nicht den Schluß ziehen, daß der Einfluß des Mondes die Ursache der Erschütterung sei. Perrey, der sich durch sein Verzeichnis der Erdbeben ein großes Verdienst erworben hat, ließ sich seiner Zeit zu einer Hypothese hinreißen, die vorher schon wiederholt in mehr oder minder bestimmter Form ausgesprochen, aber immer wieder in Vergessenheit geraten war, daß nämlich das feuerflüssige Erdinnere unter der Einwirkung des Mondes ebenso wie das Meer seine Flutwellen habe, und daß die Erdbeben nichts anderes seien als die Stöße, welche die feste Erdrinde durch diese Wellen im Inneren erhält. Wie wir nun an der Seeküste zur Zeit von Vollmond und Neumond unter der vereinigten Wirkung der Anziehung von Mond und Sonne die sogenannten Springfluten beobachten, so sollte auch zu derselben Zeit die Bewegung des feurigen Kerns durch die nämliche Ursache verstärkt werden und eine Vermehrung der Erschütterungen bewirken. Diese Ansicht ist in neuerer Zeit wieder aufgenommen worden; da der Vertreter dieser unstatthaften und unbegründeten Annahme derselben ein sensationelles Gepräge zu geben wußte, künftige Erschütterungen vorauszusagen versuchte und mit Eifer und Ausdauer für die Verbreitung seiner Anschauungen wirkte, so haben diese trotz ihrer Haltlosigkeit doch viel Aufsehen gemacht und im Publikum nicht wenig Anhänger gefunden.

Wäre übrigens auch die größere Häufigkeit der Erdbeben zur Zeit des Voll- und Neumonds erwiesene Thatsache, was, wie schon bemerkt wurde, nicht zutrifft und wahrscheinlich auch durch

spätere Untersuchungen nicht erwiesen werden wird, so ließe sich diese Erscheinung sehr einfach erklären: auch die feste Masse der Erde ist für die Anziehung von Sonne und Mond nicht ganz unempfindlich, und wenn nun in den Massen der Erdrinde das Gleichgewicht gestört, wenn ein Erdbeben zum Ausbruch reif ist, so könnte dieses mitunter durch den kleinen Anstoß erfolgen, den die Konstellation von Sonne und Mond ausübt. Ferner hat man aus den Erdbebenkatalogen ein Maximum der Erdbeben für die Winter-, ein Minimum für die Sommermonate abgeleitet und die Bemerkung gemacht, daß sich die Erschütterungen häufiger in der Nacht als am Tage einstellen. Die letztere Erscheinung mag wohl daher kommen, daß die leichtesten Stöße namentlich in Städten im Lärm und Getriebe des Tages oft unbeachtet bleiben, während die ruhige Lage im Bette gerade für die Wahrnehmung sehr günstig ist. Allerdings sollte man eine Ausgleichung dadurch erwarten, daß in der Nacht ein unbedeutendes Erdbeben nur allzu leicht verschlafen wird.

Was aber das Wintermaximum betrifft, so wurde auch dieses zum Gegenstand einer astronomischen Hypothese gemacht. Da sich die Erde in den ersten sechs Monaten in der Sonnennähe, in den letzten in der Sonnenferne befindet, so war man rasch bei der Hand, in diesem Umstand die Ursache zu finden. Man sollte aber in dieser Richtung mit jeder bestimmten Ansicht zurückhalten, solange nicht der jährliche Gang des Barometerstandes und die Verteilung der Regenmenge für die in Erwägung genommene Gegend zu Rate gezogen sind, da ja möglicherweise schon diese Faktoren zur Erklärung dieses empirischen Gesetzes ausreichen.

Auf die Frage der Verteilung der Erdbeben nach Monaten ist man in neuerer Zeit wieder zurückgekommen. So hat sich durch die entsprechende Gruppierung der 328 seit 1834 vorgekommenen norwegischen Beben in der That ein Maximum im Winter, ein Minimum im Sommer ergeben, worauf man durch Beiziehung der Schweizer Beben zu einem Maximum für Anfang Februar, zu einem Minimum für Mitte Juni gelangte. Nach demselben Gesichtspunkt sind die Erdbeben der oberrheinischen Tiefebene, die vom 9. Jahrhundert an stattgefunden haben, bearbeitet worden, und ein Hauptmaximum für November, ein erstes Minimum für den April, ein zweites kleineres Maximum für den Mai und das stärkste Minimum für den Juni gefunden worden. Es ereigneten sich 69,9 Prozent der Beben in den Winter-, 30,1 Proz. in den Sommerhalbjahren, und eine genau entsprechende jahreszeitliche Verteilung zeigen auch die Schweizer Beben der Jahre 1888—91, denn es entfielen von den 74 Erschütterungen dieser vier Jahre zwei Drittel auf die Wintermonate. Mit diesen Ergebnissen ist in Übereinstimmung, daß für Europa ein Maximum im Januar angegeben wird; dagegen stellt Montessus de Ballore jede Abhängigkeit der Anzahl der Beben von den meteorologischen Perioden in Abrede. Man dürfte aber im allgemeinen jenen Resultaten den Vorzug zu geben haben, welche auf die Statistik eines und desselben Schüttergebietes, wie der oberrheinischen Tiefebene, der Schweiz und anderer, begründet sind, und sonach würde für das nördliche und mittlere Europa mit ziemlicher Wahrscheinlichkeit ein Bebenmaximum im Winter anzunehmen sein.

Vielleicht am besten begründet scheint die Ansicht, daß Erschütterungen häufig bei niederem Barometerstand, nicht selten gleichzeitig mit Gewittern und Regengüssen eintreten. Natürlich kann auch in diesen Erscheinungen nicht die Ursache für die Entstehung der Beben, sondern nur ein leichter, den Ausbruch fördernder Anstoß gesehen werden. Daß solche Beziehungen wirklich bestehen, wird durch genaue Zusammenstellungen bezeugt. Es haben bei dem verheerenden Beben von Wernoje, 1887, welches ungefähr zwei Jahre gedauert hat, 71 Proz. der Stöße bei fallendem, 29 Proz. bei steigendem, 61 Proz. bei unternormalem, 39 Proz. bei übernormalem Barometerstand stattgefunden. Einige sehr auffallende Beispiele führt Darwin aus Südamerika an; in manchen Gegenden dieses Erdteiles werden sogar die Erdbeben geradezu als Regenboten betrachtet;

und da dort selbst starke Stöße keinen großen Schaden anrichten, sondern nur die leichten Rohrhütten der Eingeborenen umwerfen, während das Ausbleiben des Regens Hungersnot bedeutet, so gelten die Erschütterungen als ein frohes, reiche Ernte verheißendes Ereignis. Es muß indessen bemerkt werden, daß in neuerer Zeit mit Rücksicht auf das Wintermaximum der Beben und das Vorherrschen hohen Luftdrucks in den Wintermonaten die Ansicht ausgesprochen wurde, nicht niedriger, sondern *hoher* Barometerstand begünstige den Eintritt von Erdbeben, und wiederum andere erblicken nicht in der Verstärkung oder Verringerung des Luftdruckes an sich den beschleunigenden Anstoß, sondern in den *plötzlichen* Veränderungen desselben.

Die bisherigen Ergebnisse der statistischen Erdbebenforschung sind, man muß es gestehen, wenig befriedigend. Offenbar ist diese Methode nichtsdestoweniger berufen, zur Lösung des Erdbebenproblems wichtige Beiträge zu liefern, und es liegt nur an der, trotz der verwendeten Mühe allzu großen Unvollständigkeit des Materials, vielleicht auch an der nicht immer sehr wissenschaftlichen Verwertung desselben, wenn wir von diesem Ziele noch ziemlich entfernt sind. Man kommt immer mehr zu der Überzeugung, daß die statistischen Zusammenstellungen von einzelnen natürlich begrenzten Schüttergebieten auszugehen haben, und daß eine Sonderung der Beben nach ihrer Intensität und eine stete Beratung durch die meteorologischen Faktoren vorzunehmen sei. Das einwandfreieste Material, über das wir bis jetzt verfügen, sind ohne Frage die Aufzeichnungen der *japanischen* Erdbebenstationen, deren mehr als 650 errichtet sind. Sie haben die Thatsache ergeben, daß in Japan täglich durchschnittlich zwei Erdbeben stattfinden, und daß in den Jahren 1888 und 1889 eine auffallende Vermehrung der Erdbeben eingetreten ist. Aber leider erstrecken sich diese vorzüglichen Angaben bisher nur auf die kurze Zeit von sechs Jahren (1885—90), und so ist eine sichere Schlußfolgerung von größerer Tragweite hieraus noch nicht ableitbar.

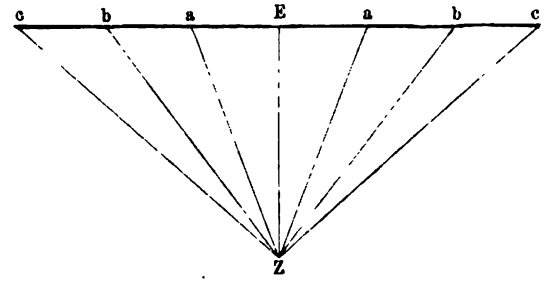
Ein ähnlicher Erdbebendienst wie in Japan besteht seit längerer Zeit in Italien, welches in dieser Richtung vorangegangen ist, in der Schweiz, in Württemberg, Baden, Hessen, in Holland und teilweise auch in Kalifornien; aber erst wenn das Beobachtungsnetz über eine viel größere Anzahl von Staaten ausgebreitet sein wird und mehrere Jahrzehnte lang fortlaufende Verzeichnisse vorliegen werden, können wir auf verläßliche Ergebnisse von allgemeiner Bedeutung hoffen. Bis dahin werden alle Versuche der statistischen Bebenforschung an Unvollständigkeit kranken und sich mit Wahrscheinlichkeitsschlüssen begnügen müssen.

Eifrig hat man sich bemüht, namentlich bei weitverbreiteten Erdbeben, den Ausgangsort derselben, ihren *Herd*, *genau festzustellen*, und hat hierzu verschiedene Methoden angewandt, die sich zwar noch in den ersten Anfangsstadien ihrer Entwickelung befinden und darum bisher noch zu keinem sicheren und übereinstimmenden Ergebnis geführt haben, aber ohne Zweifel mit der Zeit eine größere Vervollkommnung erfahren und dann wichtige Resultate liefern werden. Die Grundlage dieser Untersuchungen bildet die Annahme, daß die früher erwähnten sukkussorischen Stöße von einem Punkte oder einer Linie ausgehen, die sich in einer gewissen Tiefe unter der Erdoberfläche befindet. Durch unmittelbare Beobachtung können wir demnach nie das eigentliche Zentrum bestimmen, sondern nur die Stelle der Erdoberfläche, unter welcher dasselbe liegt, und welche daher vom Stoße senkrecht von unten getroffen wird. Man nennt diese Stelle den *Oberflächenmittelpunkt* oder das *Epizentrum* des Erdbebens, und die erste Aufgabe ist daher stets, dieses zu ermitteln, die zweite, zu bestimmen, in welcher Tiefe unter demselben der eigentliche Herd liegt.

Die Bestimmung des Epizentrums geschieht einfach, wenn auch nur annäherungsweise, durch Feststellung derjenigen Region, in welcher die größten Verwüstungen angerichtet worden sind, und durch Angabe der Zeugen über die Richtung des Stoßes. Die erstere Art der Feststellung findet am bequemsten durch graphische Einzeichnung in eine Karte statt, welche überhaupt

die Basis für alle weiteren Schlüsse geben muß. Bei einer Erschütterung der heftigsten Art bezeichnet man z. B. mit einer Farbe auf der Karte die ganz zerstörten Ortschaften, mit einer zweiten diejenigen, in welchen nur einzelne Gebäude eingestürzt sind, mit einer dritten diejenigen, von wo nur Schornsteineinstürze, Mauerrisse ꝛc. gemeldet werden; weitere Abteilungen mögen dann die ohne Beschädigung erschütterten Punkte bezeichnen und die letzte endlich diejenigen, wo die Erde ruhig geblieben ist. Trotz mancher Abweichungen wird man auf diese Weise, deren Einzelheiten je nach der Natur des Stoßes etwas abgeändert werden müssen, zu dem Resultat kommen, daß die schwersten Schäden mehr in der Mitte, die leichteren gegen die Ränder des Schüttergebietes liegen, und wird in dieser Weise die ungefähre Lage des Epizentrums finden.

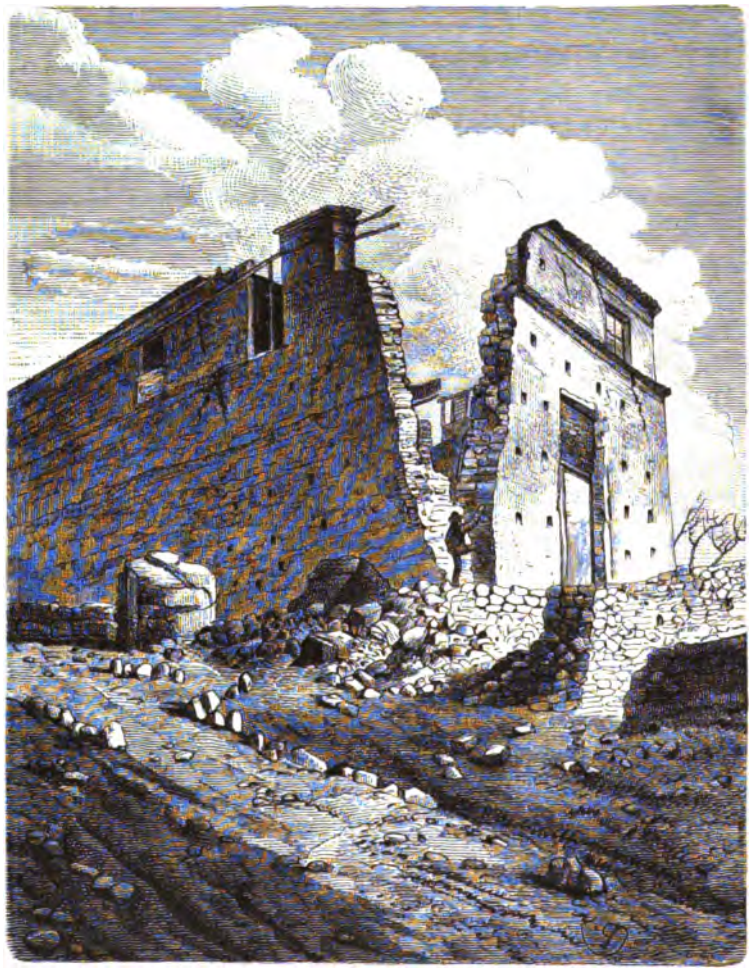
Die Tiefe des eigentlichen Bebenherdes unter dem Oberflächenmittelpunkt versuchte zuerst der ausgezeichnete Erdbebenforscher Mallet zu ermitteln. Er schlug hierzu in seinem bahnbrechenden Werke über das neapolitanische Erdbeben von 1857 folgenden Weg ein: In der untenstehenden Skizze soll der Punkt Z das in der Tiefe gelegene Zentrum, den Ausgangspunkt des Stoßes, und die Horizontallinie cc die Erdoberfläche darstellen; unter der Voraussetzung, daß die Erde eine ganz gleichmäßige Masse ist, wird sich der Stoß darin nach allen Richtungen hin mit gleicher Stärke und Geschwindigkeit fortpflanzen, dabei aber mit der Entfernung vom Ausgangspunkt auf dem Wege an Stärke verlieren. Die kürzeste Strecke, um die Oberfläche zu erreichen, hat der Stoß senkrecht nach oben nach dem Epizentrum (E) zurückzulegen, er wird also hier zuerst und mit größter Kraft erfolgen; je weiter aber ein Punkt (a, b, c) der Oberfläche vom Epizentrum entfernt ist, um so später und um so schwächer wird er den Stoß erhalten, und unter einem um so spitzeren Winkel, dem sogenannten Emissionswinkel, wird der Stoß hier den Boden treffen.



Schematische Darstellung der Ausbreitung eines Erdbebens. cc Erdoberfläche — E Epizentrum (Oberflächenmittelpunkt.) — Z Zentrum des Erdbebens.

Die bis jetzt unternommenen Bestimmungsversuche gehen von dieser Grundlage aus und suchen nach den Erscheinungen an der Oberfläche die Lage des Zentrums zu bestimmen. Die Art und Weise, in welcher dies geschieht, ist eine verschiedene; alle Versuche aber leiden von vornherein an einem großen, wenn auch vorläufig und wohl noch auf lange Zeit hinaus nicht zu vermeidenden Fehler, weil die Masse der Erde keine gleichartige ist und daher auch die Ausbreitung des Stoßes eine unregelmäßige sein muß. Die Streichungsrichtung der Schichten, das Vorhandensein von Spalten, Beschaffenheit und Wechsel der Gesteine und eine Reihe anderer Faktoren üben einen bedeutenden Einfluß aus, dessen Existenz unzweifelhaft ist, dessen Größe wir aber nicht kennen und nicht in Rechnung ziehen können. Mallet benutzte für seine Folgerungen nur die mechanische Wirkung des Stoßes; er suchte durch die Richtung der Sprünge in Gebäuden und des Falles umgestürzter Gegenstände sowie aus der Entfernung, in der sie von ihrem ursprünglichen Standort niederfielen, Direktion und Emissionswinkel des Stoßes für eine Menge von Punkten zu bestimmen und daraus die Lage des Zentrums zu berechnen. Die Konstatierung des Fallwinkels bei einem frei stehenden Körper erheischt vor allem einige Vorsicht, um volle Sicherheit zu gewähren; ob er nach dem Falle ruhig liegen geblieben oder fortgerollt oder fortgerutscht ist. Immerhin wird dies in der Regel einem guten Beobachter keine bedeutenden Schwierigkeiten bereiten, vor allem aber muß man bedenken, daß man auf diesem Wege nie die Richtung des Stoßes selbst erfährt, da der Fall ebensogut in dieser wie in der

entgegengesetzten Richtung stattfinden kann. Man kann also z. B. einen Nordstoß von einem Südstoß nicht unterscheiden; man erhält die Ebene, welche senkrecht zur Erdoberfläche durch die Stoßrichtung gelegt werden kann, nicht diese letztere selbst. Mallet hat weitere Schlüsse auf die Richtung des Stoßes, oder vielmehr auf den Emissionswinkel desselben an jene Vorkommnisse zu knüpfen gesucht, bei denen ein Körper nicht nur umgeworfen, sondern von seiner Stelle geschleudert worden ist.



Die Kathedrale von Paterno in Kalabrien nach dem großen Erdbeben von 1857. (Nach Mallet.) Die Ecke ist durch einen die Richtung der Wände schief treffenden Stoß herausgeworfen.

Ziemlich verwickelter Natur sind die Erscheinungen, welche bei Beschädigung von Gebäuden auftreten. Ein senkrecht von unten nach oben wirkender Stoß wird bei nicht allzu großer Stärke in erster Linie das Dach in die Höhe werfen, das sich dann wieder an die alte Stelle setzt, ein Fall, der nicht eben selten beobachtet wird und nachträglich an den dicht unter dem Dache rings um das Gebäude verlaufenden Sprüngen zu erkennen ist. Anders verhält es sich, wenn ein Stoß schräg von unten kommt. Trifft ein solcher z. B. ein Haus direkt an seiner Langseite, so wird die zunächst stehende Wand von senkrechten Sprüngen zerteilt, die gegenüberliegende Wand dagegen ganz nach außen gestoßen oder nur z. B. der Giebel nach außen geworfen. Trifft dagegen ein solcher Stoß die Wände schief, wird z. B. ein Haus, dessen vier Wände nach den vier Haupthimmelsrichtungen orientiert sind, von einem Nordweststoß heimgesucht, so wird die südöstliche Ecke des Hauses abgeworfen (s. obenstehende Abbildung). Kirchtürme fallen in der Regel als Eine Masse um, indem sie an irgend einer Stelle quer durchbrechen; nur bei sehr steilen Stößen bleibt bisweilen die eine Ecke als ein spitzer Pfeiler stehen.

Dies sind einige der allgemeinsten Regeln. Indem man die Stellung der Sprünge und ihre Richtung sehr genau verfolgt, erhält man jene Daten, aus denen man nach Mallet den

Emissionswinkel ableiten kann. Allein nur in den allereinfachsten und normalsten Fällen treten diese Erscheinungen klar zu Tage; alle Unregelmäßigkeiten des Hauses verursachen unregelmäßige Sprung- und Einsturzrichtungen. Die Lage von Fenstern und Thüren, von Böden und Querwänden, die Verteilung und Anordnung des Baumaterials bedingen zahlreiche Abweichungen, welche die richtige Beurteilung im höchsten Grade erschweren. Mallet hat auf diese Weise das Zentrum des neapolitanischen Erdbebens von 1857 zu bestimmen gesucht. Auf langer, mühsamer Reise durch die erschütterten Gegenden sammelte er die Daten unter Verhältnissen, die einen großen Aufwand von Energie, Umsicht und Ausdauer erforderten; er konnte an 78 Punkten 177 Bestimmungen der Stoßrichtung vornehmen und unterwarf diese Werte der Rechnung, um die Lage des Herdes aufzufinden. Rein theoretisch sollten sich alle Richtungen in einem Punkte treffen, und er fand in der That, daß 16 von diesen Linien sich innerhalb eines Kreises von 456 m (500 Yards) Radius treffen, während 32 weitere innerhalb eines Kreises von 1851 m Radius ($2^1/_2$ Seemeilen) zu liegen kommen. Von den übrigen Bestimmungen lassen sich noch 12 damit in Übereinstimmung bringen, während für einen Teil der anderen spezielle Gründe der Abweichung angegeben werden. Aus den Emissionswinkeln wurde die Tiefe des Zentrums bestimmt und nach den verschiedenen Beobachtungen zu 15,000 m als Maximum, zu 5100 m als Minimum angenommen.

Diese Methode ist allerdings sehr bestechend, aber trotzdem müssen gegen sie selbst und gegen die Überschätzung ihrer Bedeutung einige schwerwiegende Bedenken angeführt werden. Abgesehen von dem praktischen Übelstand, daß sie nur bei sehr starken Erdbeben angewendet werden kann, stützt sie sich auf eine Reihe von Voraussetzungen, die nur in den seltensten Fällen zutreffen. In erster Linie ist die Art und Weise des Verfahrens darauf gegründet, daß die ganze Zerstörung der Gebäude durch sukkussorische Stöße stattgefunden habe; da aber Beschädigungen durch einfache Wellenbewegungen geschehen können und diese hier nach den Gesetzen eines geradlinigen Stoßes (in mathematischem Sinne) behandelt werden, so liegt darin eine entschiedene Fehlerquelle. Ebenso kommt es vor, daß in einer Erdbebenperiode das Epizentrum wechselt; es werden also auch verschiedene Stoßrichtungen an den einzelnen Punkten vorkommen können, die man zu verwechseln Gefahr läuft. Vor allem aber dürfte ein Bedenken schwer in die Wagschale fallen: Wenn ein Geolog eine vom Erdbeben stark zerrüttete Stadt betritt, so umgeben ihn Hunderte von beschädigten Gebäuden, und da er sie nicht alle untersuchen kann, so hat er nun die geeignetsten zu wählen, welche er speziell studieren und auf die er seine Folgerungen gründen will. Er muß als solche diejenigen Häuser ꝛc. aufsuchen, welche die Wirkung des Erdbebens am reinsten darstellen, und als solche wird er ganz unwillkürlich unter sonst gleichen Umständen diejenigen betrachten, welche mit seiner vorläufig gefaßten Ansicht über die Lage des Mittelpunktes am besten harmonieren. In der Notwendigkeit also, eine Auswahl weniger Fälle aus der großen Menge zu treffen, und in der Schwierigkeit, um nicht zu sagen Unmöglichkeit, hierbei ganz unbefangen vorzugehen, liegt wohl die größte Schwäche der Malletschen Methode, und sie tritt vielleicht am auffallendsten hervor in der unnatürlich großen Genauigkeit der Bestimmung des Mittelpunktes bei Mallet, welche mehr leistet, als mit unseren rohen Hilfsmitteln überhaupt geleistet werden kann. Ferner muß noch hervorgehoben werden, daß schon darin ein Irrtum liegt, daß nur ein räumlich beschränktes Gebiet als Ausgangspunkt betrachtet wurde und die nahe liegende Möglichkeit, eine große Scholle Landes habe sich in Bewegung befunden, nicht berücksichtigt ist. Endlich hat Stapff darauf aufmerksam gemacht, daß die Voraussetzung, die Spaltungen lägen normal zur Stoßrichtung, weder theoretisch begründet, noch durch die Erfahrung bestätigt sei. Alle diese Erwägungen führen zu der Ansicht, daß das Werk von R. Mallet einen sehr wertvollen, bahnbrechenden Versuch darstellt, der im einzelnen eingeschlagene Weg aber ein unrichtiger ist.

Eine andere Methode hat K. von Seebach begründet, indem er seine Schlüsse lediglich auf die Zeitbestimmungen stützte. Auch diese Methode ist unzulänglich, weil zum Teil auf unrichtigen Annahmen basiert; sie ist aber einer weiteren Vervollkommnung in der Theorie fähig und kann durch Einführung eines ausreichenden Netzes von Beobachtungsstationen in Zukunft noch wertvolle Ergebnisse liefern.

Wir können an dieser Stelle den mathematischen Teil der Seebachschen Methode natürlich nicht verfolgen. Den Grundgedanken seiner Untersuchung des mitteldeutschen Erdbebens vom 6. März 1872 bildet die Überlegung, daß der Stoß vom Zentrum aus den kürzesten Weg zur Oberfläche in senkrechter Richtung zum Epizentrum zurückzulegen hat, und daß dieser Weg um so länger wird, je schräger der Stoß die Oberfläche trifft. Da nun die Zeitdauer, die der Stoß braucht, dem Wege entspricht, so kann auf die Zeitangaben über den Eintritt der Erschütterung an zahlreichen verschiedenen Punkten eine Berechnung der Lage des Herdes gegründet werden. Nach Seebach wurde dieselbe Methode von Lasaulx auf die beiden Erdbeben von Herzogenrath in den Jahren 1873 und 1877, dann von Lasaulx und Schuhmacher auf das westdeutsche Erdbeben vom 26. August 1868 angewendet, während J. Schmidt das rheinische Erdbeben von 1846 und das Erdbeben von Sillein in Ungarn danach bearbeitete. Man muß sich natürlich stets den hohen Grad von Unvollkommenheit vergegenwärtigen, der diesem Verfahren anhängt; aber immer ist es von Interesse, die Werte kennen zu lernen, welche hier erzielt wurden, und sie mit jenen Mallets für das neapolitanische Beben zu vergleichen, wie es die folgende Tabelle gestattet:

Erdbeben	Mittlere Tiefe in Metern	Fortpflanzungsgeschwindigkeit in der Minute Geogr. Meilen	in der Sekunde Meter
1) Rheinisches Erdbeben 1846	38 806	4,6	568
2) Neapolitanisches Erdbeben 1857	9 275	2,1	260
3) Erdbeben von Sillein 1858	26 266	1,7	206
4) Mitteldeutsches Erdbeben 1872	17 956	6,0	742
5) Erstes Erdbeben von Herzogenrath 1873 . .	11 130	2,7	360
6) Zweites Erdbeben von Herzogenrath 1877 . .	27 113	3,8	475
7) Westdeutsches Erdbeben 1878	8 880	2,4	302

Was man dieser Methode vorwerfen kann, ist in erster Linie, daß die Geschwindigkeit des Stoßes je nach dem Gesteinsmaterial und nach der Richtung, in welcher er die Schichten durchsetzt, eine verschiedene ist, daß das Vorhandensein von Klüften hindernd oder abschwächend in den Weg tritt, so daß also die Voraussetzung, daß sich der Stoß nach allen Seiten gleichartig verbreite, unrichtig ist, wie das auch von Seebach und seinen Nachfolgern vollständig anerkannt wird. Das zweite Hindernis ist der große Mangel an zuverlässigen Zeitbestimmungen; man darf sogar annehmen, daß unter den Angaben, welche einlaufen, mehr als die Hälfte falsch ist. Man muß nun die guten und zuverlässigen Daten von den unsicheren und falschen scheiden und kommt auch hier, wie bei der Beurteilung der Stoßrichtungen, in die mißliche Lage, als ein wesentliches Kriterium für die Richtigkeit die Übereinstimmung mit der Theorie benutzen zu müssen. Da nun der Ausgangspunkt der ganzen Schlußfolgerung der ist, daß die Erschütterung von einem Punkte oder einer Linie ihren Ursprung nahm, während gewiß in sehr vielen Fällen weit ausgedehnte Schollen gleichzeitig in Bewegung geraten, so ist dadurch die ganze Art der Behandlung eine unsichere. Es liegt in diesen Auseinandersetzungen nicht der leiseste Vorwurf gegen diejenigen, welche diese Arbeiten gemacht haben. Sowohl Mallets wie Seebachs Methode bedeuteten einen großen Fortschritt; sie haben uns auf einen Standpunkt gebracht, von dem aus

der Forschung neue Wege offen stehen. Hier war es jedoch nötig, vor einer Überschätzung des Wertes der Zahlen zu warnen.

Es mag gut sein, die Resultate Wähners hervorzuheben, der gefunden hat, daß das Agramer Erdbeben über den ganzen Raum seiner Verbreitung fast gleichzeitig aufgetreten ist. Gerade die zuverlässigsten Aufzeichnungen ergeben z. B. folgende Zeiten: Eintritt des Bebens in

Agram . .	7 Uhr	27	Minuten	38	Sekunden	Komorn .	7 Uhr 26 Minuten 12 Sekunden
Fiume . .	7 "	27	"	27	"	Laibach . .	7 " 26 " 38 "
Fünfkirchen	7 "	27	"	44	"	Triest . .	7 " 27 " 11 "
Graz . .	7 "	29	"	56	"	Wien . .	7 " 28 " 27 "

Die stärkste Verspätung zeigt Budweis, wo das Erdbeben um 7 Uhr 30 Minuten 46 Sekunden eintrat, also 3 Minuten 8 Sekunden später als in Agram. Zu demselben Resultat, daß sich die Erschütterung über große Gebiete gleichzeitig fühlbar gemacht habe, sind Heim für das Schweizer Erdbeben vom 4. Juli 1880, Whitney für dasjenige von Owen's Valley in Kalifornien vom 26. März 1872 und Wynne für die Erschütterungen gelangt, welche am 2. März 1878 das obere Pandschab heimsuchten.

In neuerer Zeit hat Ch. Dutton gelegentlich der Bearbeitung des Bebens von Charleston im Jahre 1886 eine neue Methode zur Ermittelung der Tiefe des Herdes vorgeschlagen, welche der Bedeutung der transversalen Wellen gerecht zu werden sucht. Aber leider ist auch diese Methode nicht frei von Fehlern: sie setzt eine gleichmäßige Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Bebenwelle voraus, während wir annehmen müssen, daß dieselbe mit der Tiefe wegen der daselbst größeren Elastizität der Gesteine bedeutend wachse. Dutton findet auf Grund seines Verfahrens zwei nahe benachbarte Herde von etwa 13 und von etwa 19 km Tiefe; A. Schmidt leitet dagegen für dasselbe Erdbeben eine Herdtiefe von wahrscheinlich über 100 km ab.

Besondere Aufmerksamkeit hat man ferner der Ermittelung der Art der Wellenbewegung bei Erdbeben und ihrer Fortpflanzungsgeschwindigkeit zugewendet, beides Probleme der schwierigsten Art, zu deren allseitiger Lösung gegenwärtig nicht mehr als die ersten tastenden Versuche gemacht sind. Was zunächst die Fortpflanzungsgeschwindigkeit betrifft, so beruht die Bestimmung derselben hauptsächlich auf der Vergleichung des zeitlichen Eintreffens der Stöße an verschiedenen Stellen des Schüttergebietes. Nun sind aber diese Zeitbestimmungen in Wirklichkeit, wie wir gesehen haben, größtenteils so wenig verläßlich, die Fehlergrenzen so weit, daß das Ergebnis dadurch in unzulässigem Grade beeinflußt wird. Nur bei Auswaschungs- und bei vulkanischen Beben ist das Ausgangsgebiet ein zentrales und räumlich beschränktes, bei der Mehrzahl der Beben dagegen erfolgt die Erschütterung im eigentlichen Schüttergebiet fast gleichzeitig; sie geht von einer gegen die Oberfläche verschieden geneigten, weit gedehnten Fläche aus, und in diesem Falle wird die Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit wohl nur in den seitlich vom Schüttergebiet gelegenen Gegenden eintreten können. Endlich wird die Bebenbewegung durch eine Reihe verwickelter Faktoren beeinflußt, deren Bedeutung wir zwar im allgemeinen kennen, für die wir aber nur in Ausnahmefällen eine bestimmte Fassung werden vornehmen können. Wir wissen, daß die Geschwindigkeit der Elastizitätswellen im allgemeinen von der Dichte, der Homogenität und der Elastizität des Materials abhängt. Nun ist aber unsere Erde, welche die Bebenwelle fortleitet, weit entfernt davon, ein homogener Körper zu sein, und Dichte und Elastizität sind in den verschiedenen Teilen derselben bedeutenden Schwankungen unterworfen. In größerer Tiefe ist das Material der Erdkruste unzweifelhaft viel elastischer und homogener als nahe der Oberfläche. Die äußerste Kruste der Erde zeigt einen ungemein vielfachen Wechsel verschiedenartiger Gesteine; Myriaden von Spalten, Schichtfugen und Höhlungen durchziehen die Gesteinsmasse, und dazu kommen noch die verschiedenen Grade der Durchtränkung und die

verschiedenen Temperaturen. Endlich ist noch zu berücksichtigen, daß die Elastizität der Gesteine gewisse Grenzen hat; werden diese überschritten, so wird ein Teil der lebendigen Kraft zur Bildung von dauernden Deformationen des Festen verwendet und die Arbeit in Wärme umgesetzt. Auf diese Weise verliert der Stoß gegen die Oberfläche immer mehr an Intensität.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Bebenwelle muß aus diesen Gründen in der Tiefe wesentlich größer sein als nahe der Oberfläche. Mit der Hemmung der Bebenwelle und der Verringerung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit in der Nähe der Oberfläche muß auch eine Ablenkung der Stoßrichtung, des „Emergenzwinkels", eintreten. Da wir nun aber genötigt sind, bei unseren Bestimmungen von der Oberfläche auszugehen, so ergibt sich, wie schwierig und wenig verläßlich die Schlüsse sind, welche wir auf die an der Oberfläche gewonnenen Werte gründen.

Die ersten Schritte zur experimentellen Ermittelung der Geschwindigkeit der Erschütterungen im Gestein wurden von R. Mallet unternommen, welcher durch Versuche mit Sprengmitteln erwiesen hat, daß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit von der Stärke des Anstoßes abhängig ist. Dies wurde später von H. Abbot durch Beobachtungen gelegentlich der großen Sprengungen bei Hallet's Point in der Nähe von New York bestätigt, und es zeigte sich auch, daß die Geschwindigkeit abnimmt, je weiter die Welle vordringt. Daß die Fortpflanzung in der Streichrichtung der Schichten rascher vor sich geht, als senkrecht darauf, ist schon seit längerer Zeit bekannt. Quer zum Streichen stehen die zahllosen Schichtfugen störend im Wege und wirken abschwächend und verzögernd. J. Milne konnte ferner erweisen, daß den verschiedenen Komponenten einer Erschütterung eine verschiedene Geschwindigkeit zukommt. Natürlich spielt auch das Material, welches den Erregungszustand weiterführt, eine wichtige Rolle; so geschieht die Fortpflanzung in losem Sande viel langsamer als in dem weit elastischeren kompakten Granit oder Kalkstein. Vergleicht man die Zahlenwerte, welche von verschiedenen Forschern zu verschiedenen Zeiten ermittelt sind, so zeigt es sich, daß die neueren Angaben fast durchaus größere Geschwindigkeiten ausweisen; sie dürften, weil auf genauere Versuche begründet, mehr Vertrauen verdienen. Dies gilt besonders von den durch Michel Lévy und Fouqué gefundenen Zahlen, welche wir hier mitteilen. Die Geschwindigkeit beträgt

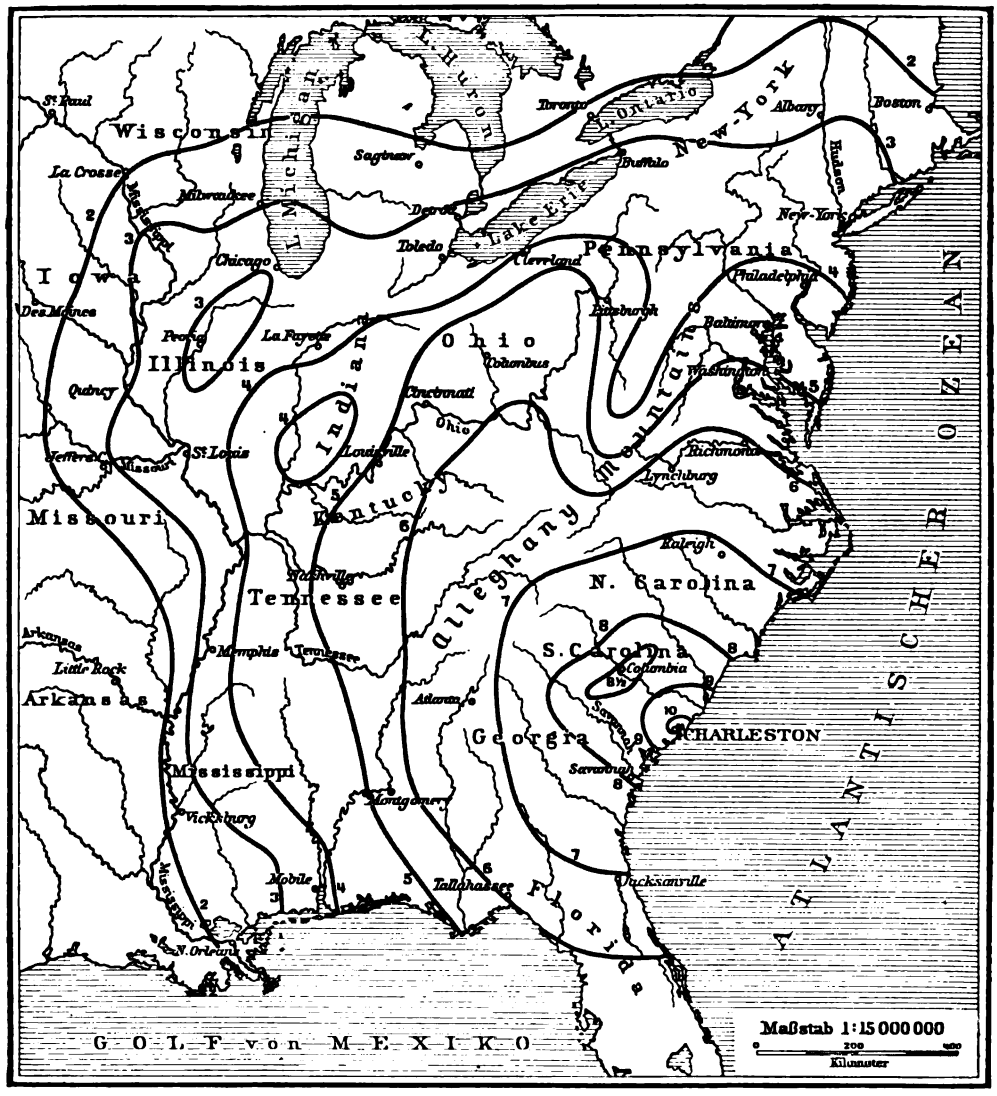
im Granit	2450—3141 m
im kompakten Kohlensandstein	2000—2526 m
im weniger festen Permsandstein	1190 m
im kambrischen Marmor	632 m
in den Sanden von Fontainebleau ungefähr	300 m

Neben der mineralischen Beschaffenheit sind auch noch die Struktur, die Porosität und die Durchtränkung von Einfluß.

Nach dem oben Mitgeteilten müssen Beben, deren Herd in geringer Tiefe zu suchen ist, eine mäßige Fortpflanzungsgeschwindigkeit aufweisen. Dies trifft in der That zu. Wohl die geringste Zahl, 20 m in der Sekunde, findet A. Schmidt für das Schwäbische Alb-Beben vom 14. Oktober 1890, dessen Herd in die Tiefe von ungefähr 100 m verlegt wird. Diesem fast befremdend niedrigen Werte reihen sich zunächst die von Rossi bestimmten und zwischen 100 und 300 m schwankenden Geschwindigkeiten für italienische Beben an; für das Beben von Herzogenrath von 1873 gibt Lasaulx 360 m, für das zweite Beben von Herzogenrath 475 m an, für das rheinische Beben von 1846 ermittelte Schmidt 560 m, für das mitteldeutsche von 1872 wurde 742 m, für das Wernojer vom 9. Juni 1887: 265—850 m, für das andalusische vom 25. Dezember 1884: 1500—2000 m, für das Charlestoner vom Jahr 1886 gar 5100—5200 m in der Sekunde gefunden.[1]

[1] Vgl. die Tabelle auf S. 330.

Auffallend hoch erscheint die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Charlestoner Bebens, und doch dürfte gerade dieser Wert besonders vertrauenswürdig sein, da über dieses Beben eine größere Anzahl genauer Zeitangaben vorlag als bei allen früheren Beobachtungen. Die Theorie fordert für die Fortführung der Stoßwelle in kieseligen Massen (Glas) von unbegrenzter Aus-



Isoseistenkarte des Erdbebens von Charleston im Jahre 1886. (Nach Ch. Dutton.) Die Zahlen der Isoseisten-Linien beziehen sich auf die Intensitätsgrade der Rossi-Forelschen Skala. Vgl. Text, S. 334.

dehnung die Geschwindigkeit von 4724—5333 m in der Sekunde, so daß also in dieser Richtung Übereinstimmung bestände. Die Geschwindigkeit der mikroseismischen Welle, welche wir schon im vorhergehenden besprochen haben, steht nach der Mehrzahl der Angaben zwischen den für das andalusische und das Charlestoner Beben ermittelten Werten, nähert sich aber mehr dem ersteren. Allem Anscheine nach werden wir für die mikroseismischen Wellen, welche sich in größerer Tiefe wahrscheinlich mit mehr gleichmäßiger Geschwindigkeit fortpflanzen, in nicht zu ferner Zeit

durch Beobachtungen an Horizontalpendeln, an seismischen und astronomischen Apparaten zuverlässige Zahlen erhalten. Weit schwieriger dagegen wird stets die Ermittelung der Geschwindigkeit der eigentlichen Bebenstöße bleiben.

In neuerer Zeit gingen die Bemühungen auch dahin, etwaige Unterschiede der Fortpflanzung in verschiedenen Teilen der Schüttergebiete bestimmter aufzufassen. Man hat die Wahrnehmung gemacht, daß die Wellen örtlich voraneilen, an anderen Stellen dagegen zurückbleiben; so war z. B. bei dem ligurischen Beben vom 23. Februar 1887 die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in der Richtung nach Westen, also gegen Nizza und Marseille, etwas größer (im Mittel 1450 m), und kleiner nach Genua (im Mittel etwa 580 m). Es wurde sogar beobachtet, daß die Geschwindigkeit mit wachsender Entfernung vom Epizentrum zunehme, ein Verhältnis, das der allgemeinen Regel nicht entspricht, wohl aber nach A. Schmidt dann zutrifft, wenn der Erdbebenherd sehr nahe der Oberfläche gelegen ist. In solchen Fällen wird auch mit der Möglichkeit gerechnet werden müssen, daß die Geschwindigkeitszunahme einem Relaisbeben oder einem Simultanbeben im Sinne Reyers zuzuschreiben sei. Der Hauptgrund für die verschiedene Fortpflanzung nach verschiedenen Richtungen liegt aber wohl im geologischen Bau des erschütterten Gebiets; so üben größere Gebirgskerne zumeist einen verzögernden Einfluß auf die Bebenwelle aus. Dies zeigte sich bei dem andalusischen Beben, bei welchem die kristallinischen Kerne der Sierra de Ronda im Westen und der Sierra Nevada im Osten für die Verbreitung der Stöße maßgebend waren. Versucht man es, die Punkte gleichstarker Erschütterung, die Isoseisten, festzustellen und kartographisch zu verzeichnen, so erhält man ein graphisches Bild des Wellenganges, und in diesem müssen die Einflüsse der geologischen Gestaltung zum Ausdruck kommen. So erkennt man z. B. aus der Isoseistenkarte des Charlestoner Bebens (s. Abbildung, S. 333), daß die Bebenwellen am Rande der Appalachen eine Verzögerung erfuhren, aber nur jene, welche Zerstörungen des 6., 5. und 4. Grades der Rossi-Forelschen Intensitätsskala hervorgebracht haben; die dem 2. und 3. Intensitätsgrade entsprechenden Wellen wurden nicht beeinflußt. Es braucht wohl kaum betont zu werden, daß derartige Isoseistenkarten nach unseren gegenwärtigen Hilfsmitteln keinen Anspruch auf Exaktheit erheben können; hierzu fehlt uns eine Intensitätsmaßeinheit. Wir sind auf die Vergleichung der Wirkungen angewiesen, und diese werden in demselben Falle von verschiedenen Beobachtern verschieden beurteilt werden, ja sogar derselbe Forscher wird im Laufe der Arbeit seinen persönlichen Maßstab unbewußt verändern, wie dies C. Dutton, der Verfasser der Isoseistenkarte des Charlestoner Bebens, sehr richtig hervorgehoben hat. Trotzdem sind solche Arbeiten nützlich und fördern unsere Einsicht.

Wohl noch größere Schwierigkeiten als die Fortpflanzungsgeschwindigkeit bereitet die Frage nach der Art der Erdbebenwellen. Daß die sogenannten sukkussorischen oder subsultorischen Stöße durch normale Elastizitätswellen hervorgerufen werden, unterliegt keinem Zweifel: die Teilchen der Erdoberfläche werden hierdurch zu einer nach aufwärts und abwärts gerichteten Bewegung veranlaßt. Diese aber muß nach den Gesetzen der Mechanik an der Oberfläche transversale Wellenbewegungen, analog den bekannten Gravitationswellen des Wasserspiegels, anregen und hierdurch die Teilchen zum Ausweichen in seitlicher Richtung veranlassen. Eine weitere Komplikation erfährt die Wellenbewegung noch dadurch, daß an der Oberfläche eine Reflexion der Bebenwellen nach innen eintreten muß. Dazu kommt aber noch, daß die Bebenwellen in den oberen Teilen der Erdrinde durch die daselbst vorhandenen Myriaden von Klüften, Spalten, Schichtfugen, Höhlungen und den häufigen Wechsel von Gesteinen ungleicher Elastizität und Dichte offenbar in höchst mannigfaltiger Weise beeinflußt werden und bereits deformiert an die Oberfläche treten. Unter diesen Umständen kann die Art der Bewegung, welche die Oberfläche darbietet, nur in beschränktem Maße über die Wellenbewegung in größerer Tiefe Aufschluß geben. Nun ist es,

dank den Bemühungen und dem Scharfsinn der Seismologen, in Japan thatsächlich gelungen, die seismische Bewegung eines Teilchens der Erdoberfläche festzustellen und zu messen, und zwar durch sehr sinnreiche Vervollkommnungen der sogenannten Seismometer, von denen schon wiederholt die Rede war, und über die wir an dieser Stelle einige Bemerkungen einfügen wollen.

Instrumente zur Feststellung des Eintretens, der Richtung und Stärke eines Erdstoßes hat man auf verschiedene Art konstruiert. So ist z. B. eine flache Schüssel, in welcher sich mit Kleie bestreutes Wasser befindet, ein Seismometer der rohesten und einfachsten Art. Eine leise Erschütterung genügt, um das Wasser ins Schwanken zu bringen; die Kleie bleibt dann an den Wänden der Schüssel kleben und bezeichnet durch ihre Lage die Richtung des Stoßes. Schon bedeutend besser ist eine Vorrichtung, die aus einem Becken mit acht genau in gleicher Höhe in den Seitenwänden gleichmäßig verteilten Löchern besteht. Das Becken wird bis zum Unterrande der Löcher mit Quecksilber gefüllt, und jede Erschütterung wird durch die ihrer Richtung entsprechenden Öffnungen eine je nach ihrer Stärke größere oder kleinere Menge Quecksilber ausschütten, das in kleinen Schüsselchen aufgefangen wird. Andere Seismometer bestehen im wesentlichen aus einem Pendel, z. B. einem Faden mit daran hängendem Bleilot und mit einer nach unten gerichteten Spitze, welche eine Sandfläche oder eine berußte Glastafel eben noch berührt. Eine

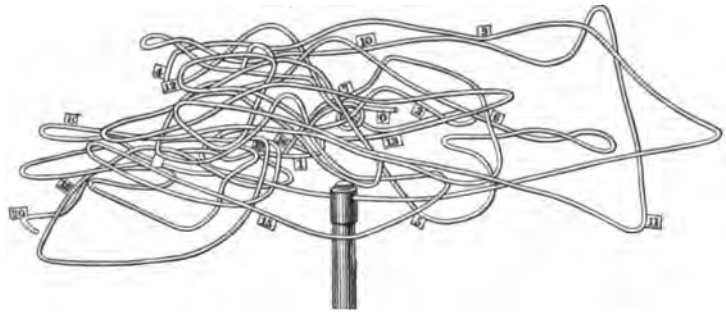
Autograph des Erdbebens in Tokio vom 25. Juli 1880, durch den Wagenerschen Erdbebenmesser aufgezeichnet.

Erschütterung bringt das Lot zum Schwingen und läßt es eine Furche im Sande oder auf der Tafel ziehen. Um die Zeit zu ermitteln, wann ein Stoß eintritt, haben R. von Seebach und Lasaulx Apparate vorgeschlagen, bei denen durch die Erschütterung entweder eine stehende Uhr in Gang gebracht oder eine gehende gehemmt wird.

Natürlich genügen so rohe Instrumente nicht den Anforderungen der fortgeschrittenen Wissenschaft. Man hat zunächst in Italien genauere Seismometer gebaut; aber der erste wirklich bedeutende Fortschritt wurde durch den Wagenerschen Erdbebenmesser in Japan angebahnt. Derselbe schreibt nicht nur die Zeit und Richtung des Stoßes selbstthätig mit einem Stifte auf Papier nieder, sondern gibt auch in etwas vergrößertem Maßstab die Größe der Bewegung an, welche die Erdoberfläche erleidet. Die obenstehende Zeichnung gibt das Autograph eines leichten Erdbebens, das in Tokio am 25. Juli 1880 stattgefunden hat, des ersten, welches überhaupt auf diesem Wege beobachtet wurde. Wir sehen um 2 Uhr $3^1/_{10}$ Minuten die Erschütterung mit einigen leisen Zuckungen beginnen und einen etwas stärkeren Stoß folgen, bei dem die Horizontalbewegung der Erdoberfläche $^1/_2$ mm betrug. Nach wenigen leichten Schwingungen folgte wieder ein merklicher Stoß mit 1 mm Erdbewegung, der $^1/_2$ Minute nach Beginn der Erschütterung eintrat; dann 48 Sekunden hindurch nur leichte Schwingungen, auf welche der stärkste Stoß mit 1,67 mm Bodenbewegung erfolgte. Ihm schlossen sich wieder leichte Vibrationen an, mit Einschluß deren das ganze Beben gerade 2 Minuten dauerte, wie es obenstehend von des Erdbebens eigener Hand geschrieben zu sehen ist. Bald genügte aber auch dieser Apparat nicht, denn er gibt nur die Bewegung eines Teilchens in horizontaler Richtung an. Den Pendelapparaten haftet ferner der Nachteil an, daß die Pendel, einmal in Bewegung gesetzt, weiter schwingen. Seither haben Gray, Milne, Ewing und andere so vortreffliche Verbesserungen an den Seismometern ausgeführt, daß diese nunmehr nicht nur die vertikale, sondern auch die beiden horizontalen Komponenten der Erschütterung gesondert verzeichnen und auf rotierendem photographischen Papier selbstthätig registrieren.

Auf Grund der Aufzeichnungen dieses Gray-Milneschen Seismographen hat Professor Sekei Sekiya ein aus Kupferdraht gefertigtes Modell hergestellt, welches in fünfzigfacher Vergrößerung die Bewegung eines Erdteilchens von der ersten bis zur 72. Sekunde während eines Erdbebens (es war das vom 25. Januar 1887) zur Anschauung bringt (s. untenstehende Abbildung) und den unmittelbaren Beweis liefert, wie außerordentlich kompliziert die Bewegungen der Oberflächenteilchen unter der Einwirkung der Bebenwellen gestaltet sind. Die größte seitliche Abweichung beträgt in diesem Falle 7,3 mm, die größte vertikale Bewegung 1,3 mm. Es traten zuerst kleine Erzitterungen, 5—6 in der Sekunde, auf, dann folgten Oszillationen von $^1/_2$—2 und $2^1/_2$ Sekunden Schwingungsperiode, und nach der 71. Sekunde hörten die Vertikalbewegungen fast ganz auf, dagegen dauerten die horizontalen noch mehr als eine Minute mit großer Stärke fort. Die Wellenperiode oder die Zeitdauer einer Welle ist nach den Aufzeichnungen des Seismographen von der Intensität des Stoßes abhängig.

Die Thatsache ist jedenfalls sehr merkwürdig, daß bei einem schon recht merklichen und Schrecken verursachenden Beben, wie das hier besprochene, die vertikale Bewegung der Teilchen nicht viel größer ist als 1 mm; man müßte also bei einer Vertikalbewegung von etwa 2 cm schon die furchtbarsten Verwüstungen erwarten. Nach den früheren, auf den Augenschein oder den allgemeinen Eindruck und das individuelle Gefühl begründeten Anschauungen war man geneigt, wesentlich stärker ausholende Bodenbewegungen vorauszusetzen. Selbstverständlich können die Angaben des Seismometers über Amplitude und Schwingungsperiode der Oberflächenteilchen keine absolute Basis für die exakte Charakterisierung der tieferen Wellen abgeben; es ist aber nichtsdestoweniger schon ein großer Gewinn für die Wissenschaft, wenn zunächst die faktische Oberflächenbewegung festgestellt ist, und es kann keinem Zweifel unterliegen, daß diese besonders in Japan geförderte Forschungsrichtung für die Zukunft noch reiche Früchte verheißt.



Modell, die Bewegung eines Erdteilchens vom Beginn der Erschütterung bis zum Ende der zwanzigsten Sekunde darstellend. (Nach S. Sekiya.)

Man findet häufig die Angabe, daß sich Erdbeben in Bergwerken oder tiefen Brunnen viel schwächer fühlbar machen als auf der Oberfläche; es fehlt aber bis jetzt an exakten Bestimmungen in dieser Richtung. Sekiya und Omori haben sich der Ermittelung dieses Verhältnisses zugewendet und durch Vergleich der Aufzeichnungen eines auf der Oberfläche und eines möglichst genau gleichen, in einem 6 m tiefen Brunnen angebrachten Seismographen festgestellt, daß bei schwachen Beben kein wesentlicher Unterschied zwischen der Oberfläche und der Tiefe besteht; wohl aber existiert ein solcher in auffallendem Maße für die kleinen, raschen Erzitterungen, in geringerem Grade für die Hauptstöße.

Wie wir gesehen haben, sind auf dem Gebiet der Erdbebenforschung hauptsächlich nach zwei Richtungen hin große Erfolge zu erwarten: durch Erfassung des Zusammenhanges zwischen den Erdbeben und dem geologischen Bau der betroffenen Gegenden und durch die systematische Beobachtung und experimentelle Untersuchung mit Hilfe der Seismographen. Was in letzterer Hinsicht bisher geschehen ist, gereicht wohl den beteiligten Staaten und Forschern zu großer Ehre und ist auch gewiß nicht gering anzuschlagen, aber vorläufig bilden diese Bestrebungen nur einen

vielversprechenden Anfang. Erst wenn wir über ein alle Kulturstaaten überspannendes Netz von Beobachtungsstationen verfügen und diese Arbeiten jahrelang fortgesetzt sein werden, können wir über eine genügende Summe von Thatsachen zu gebieten hoffen, die uns einen tieferen Einblick in das Wesen der so verbreiteten und verheerenden Naturerscheinung der Erdbeben gestatten werden. Für die meisten dieser Stationen würden einfachere Apparate genügen; man würde von ihnen nicht mehr zu erwarten brauchen, als ein richtiges Registrieren der fühlbaren Bebenstöße. Außerdem müßten aber einige andere mit den genauesten mikroseismischen Instrumenten ausgestattet sein und unter fortdauernder Kontrolle physikalisch und astronomisch geschulter Beobachter stehen. Die spezifisch seismischen Experimente, Beobachtungen der Wellenbewegung, Studien über die etwaigen Beziehungen der seismischen Vorgänge zum Erdmagnetismus ꝛc., werden naturgemäß jederzeit vorwiegend jenen Ländern vorbehalten sein, in denen Erdbeben zu den täglichen Erscheinungen gehören, wie Japan, Italien und andere.

Wenn wir auch auf eine derartige Organisierung und Verallgemeinerung des Erdbebendienstes den größten Wert legen müssen, so ist damit selbstverständlich nicht gesagt, daß das Studium einzelner stärkerer Erdbeben, wie es bisher zumeist üblich war, in Zukunft an Bedeutung verlieren werde; es wird im Gegenteil ebenso unerläßlich bleiben wie bisher, und auch in Zukunft werden die Erdbebenforscher in demselben Maße auf die Hilfe des Nichtgeologen angewiesen sein wie bisher. In der That ist wohl auf keinem anderen Gebiet die Beobachtung jedes Einzelnen von so hohem Werte wie bei den Erdbeben. Es ist ein Zufall, der nicht allzu oft eintrifft, daß ein Geolog gerade an der Stätte eines größeren Erdbebens weilt, und selbst wenn er sich an Ort und Stelle befindet, trifft es ihn ganz unvorbereitet oder in einer Lage, die eine sofortige Beobachtung nicht zuläßt. Selbst wenn alle Bedingungen günstig sind, kann er nicht mehr thun, als die Zeit so genau wie möglich zu bestimmen und die Erscheinungen in der unmittelbaren Umgebung zu beobachten. Aber dadurch ist nur eine zuverlässige Notiz gegeben, während man deren zur richtigen Beurteilung eine sehr große Menge braucht. Nur durch das Zusammenwirken aller kann ein befriedigendes Resultat geliefert werden, und darum sollte niemand, der irgend eine nennenswerte Bemerkung in dieser Beziehung macht, es unterlassen, sie sofort einem Geologen mitzuteilen, natürlich am besten demjenigen, welcher der Stelle der Erschütterung am nächsten wohnt. Jede solche Mitteilung wird mit Dank angenommen werden, und wenn sie auch der Empfänger nicht selbst verwertet, so wird er doch dafür sorgen, daß sie in die richtigen Hände komme.

Von kaum geringerer Bedeutung als die Kenntnis der Erscheinungen während der Erschütterung ist die nachträgliche Untersuchung der Wirkungen, welche diese zurückgelassen hat. Hier kann natürlich nur der Geolog selbst die Hauptarbeit verrichten, da allein sein Auge, vertraut mit der Methode und mit den Umständen, die von Wichtigkeit sind, alle die Einzelheiten gewahrt, welche die Beurteilung beeinflussen. Nach den meisten größeren Erdbeben, die sich in letzterer Zeit in leicht erreichbaren Gegenden zugetragen haben, sind sofort mehrere Geologen an Ort und Stelle erschienen, um die eingestürzten Gebäude, Sprünge in Mauern, Spalten des Bodens ꝛc. zu studieren und von den Leuten an Ort und Stelle Nachrichten einzuziehen. Trotzdem ist es nicht möglich, alles zu sehen, was sich zugetragen hat, und infolgedessen sind Mitteilungen aus dem Publikum über solche dauernde Veränderungen ebenfalls von hoher Bedeutung und sehr wünschenswert. Um eine Vorstellung von der Menge der Beobachtungen zu geben, die für die richtige Beurteilung eines Erdbebens nötig sind, mag berichtet werden, nach welchen Materialien z. B. das Werk von Wähner über das Agramer Erdbeben verfaßt ist. Der Autor selbst hat fünf Wochen an Ort und Stelle, ausschließlich mit diesem Gegenstand beschäftigt, zugebracht; mehrere andere Geologen aus Wien, Pest und Agram waren in ähnlicher Weise

beschäftigt, und ihre Beobachtungen konnten mit benutzt werden. Durch Vermittelung einiger Eisenbahndirektionen lagen die Berichte von weit über hundert Eisenbahnstationen vor, die Seebehörde hatte solche von sämtlichen Hafenkapitänen und Leuchtturmwächtern der weiten Strecke von Cattaro bis zur italienischen Grenze mitgeteilt; außerdem gingen sehr zahlreiche Privatmitteilungen und Zeitungsberichte ein, so daß Beobachtungsmaterial über etwa 750 verschiedene Ortschaften vorlag. Zwar waren noch manche Lücken vorhanden, aber im ganzen war auf dieser Grundlage ein richtiger Einblick in das Wesen jenes Erdbebens möglich durch die vereinigte Thätigkeit von mehr als 1000 verschiedenen Beobachtern, deren Resultate sich in einer Hand vereinigten. Eine ebenso große Menge von Einzeldaten mußte von Ch. Dutton zum Zwecke der Bearbeitung des Erdbebens von Charleston bewältigt werden.

Man hört oft die Ansicht äußern, daß es gar nicht der Mühe wert sei, die verhältnismäßig schwachen Beben unserer Gegenden zu studieren; von Nutzen und wahrer Bedeutung könne ja doch nur die Untersuchung der Erscheinung in ihrer mächtigsten Entwickelung sein. Diese Meinung ist aber vollkommen falsch; einzelne Punkte treten allerdings bei den furchtbarsten Katastrophen mit erschreckender Klarheit hervor, aber in den meisten Beziehungen sind leichte Erdbeben zum Studium weit geeigneter. Bei einem Stoße, der eine Stadt in wenigen Augenblicken in einen Schutthaufen verwandelt und Hunderte oder Tausende von Einwohnern tötet, bleibt wenig Zeit und Ruhe zu genauer Beobachtung; sinnlose Panik oder stumpfe Verzweiflung sind die herrschenden Gefühle, aber selbst der Besonnenste und Kaltblütigste wird weit eher daran denken, sich und andere zu retten. Nur Ausnahmsmenschen werden in einem solchen Moment die Ruhe besitzen, die Sekundenuhr herauszuziehen und Anfang und Dauer der Erschütterung zu notieren. So erhält man gerade bei den heftigsten Erdbeben in der Regel nur ganz vage Berichte, die über manche der wichtigsten Dinge nicht die nötige Klarheit bieten, das menschliche Interesse spannen und befriedigen, aber die Wissenschaft nicht wesentlich fördern. Ferner ist bei den stärksten Stößen alles in so greulicher Weise verwüstet und durcheinander geworfen, daß man auch nachträglich nicht mehr die Beobachtungen über die Lage eingestürzter Mauern, die Richtung von Sprüngen 2c. machen kann, die bei mittleren Erdbeben, wie dem von Agram, so wichtig sind.

Die Punkte, worauf bei diesen Beobachtungen besonderer Wert gelegt werden muß, sind folgende:

1) Zeit des Eintrittes und Dauer der Erschütterung, wenn möglich auf Bruchteile von Minuten genau; die Uhr, nach der die Beobachtung gemacht wurde, muß möglichst bald mit einer Normaluhr, etwa mit derjenigen der nächsten Bahn- oder Telegraphenstation, verglichen werden.

2) Zahl und Art der Erschütterungen; waren diese wellenförmig oder sukkussorisch?

3) Richtung des Stoßes, nach dem eigenen Gefühl und nach der Schwingungsrichtung in Bewegung geratener Gegenstände, z. B. von Hängelampen.

4) Stärke der Erschütterung; welche Wirkungen brachte sie hervor?

5) War ein Geräusch zu hören?

6) Sind Beschädigungen an Gebäuden vorgekommen, und welcher Art waren sie? Sonstige Wahrnehmungen, eigene wie fremde, sind beizufügen.

Es würde als ein großer Gewinn zu betrachten sein, wenn diese Zeilen die Überzeugung förderten und verbreiteten, daß es Pflicht eines jeden intelligenten Menschen ist, das Seinige zur Förderung der geologischen Wissenschaft beizutragen, indem er jede Beobachtung, die ihm möglich ist, mitteilt.

5. Gebirgsbildung.

Inhalt: Gebirgsformen. — Arten der Störungen. — Ältere Ansichten über Gebirgsbildung. — Der Bau des Alpensystems. — Das Vorland des Alpensystems. — Senkungsgebiete. — Wesen der Gebirgsbildung. — Fortdauer der Gebirgsbildung. — Erdbeben und deren Zusammenhang mit dem Gebirgsbau. — Geographische Homologien. — Die Frage der Strandverschiebungen. — Ursachen der Strandverschiebungen. — Alter der Festländer.

Gebirgsformen.

Wir haben die Ausbrüche der Vulkane und die Stöße der Erdbeben für sich als Bewegungserscheinungen besprochen, ohne bisher ihren Zusammenhang mit größeren, allgemeineren Vorgängen näher ins Auge zu fassen, durch den die wahre Bedeutung jener Phänomene erst klar wird. Vulkanische Eruptionen und Erdbebenstöße stellen nur die äußerlich und innerhalb einer kurzen Zeitpause für uns wahrnehmbaren Anzeichen großartigster Massenbewegungen dar, die wir unter dem Namen der Gebirgsbildung zusammenfassen. Haben uns schon die Erdbeben gezeigt, daß die Ruhe des Bodens, auf dem wir stehen, durchaus keine vollständige und allgemeine ist, so werden wir nun erkennen, daß im Laufe langer Perioden die ganze Oberfläche der Erde die gewaltigsten Verschiebungen erleidet, daß einige Teile einem in Wellenbewegung begriffenen Meere gleichen, während andere durch und durch zerklüftet in sich zusammenbrechen. Allerdings sind die Bewegungen so langsam, daß es uns scheint, als wären alle diese Massen mitten in einem Moment heftigster Aufregung erstarrt, und wir uns nur schwer davon überzeugen können, daß derselbe Vorgang noch immer in Thätigkeit ist.

Der gewöhnliche Sprachgebrauch versteht unter einem Gebirge eine Gruppe ansehnlicher, mehr oder weniger schroffer Bodenerhebungen. Aber vom geologischen Standpunkt aus faßt eine solche Erklärung sehr verschiedenartige Dinge zusammen, die ihrer Entstehung nach nur sehr wenig oder gar nichts miteinander gemein haben. Denken wir uns an einen beliebigen Punkt des schwäbischen Unterlandes, nahe dem Absturz der Rauhen Alb, versetzt: Es umgibt uns ein flachwelliges Hügelland, und vor uns steht eine steile, pralle Bergmauer, in die eine Anzahl von Wasserläufen Bresche legt, während sich nach der Niederung hin isolierte Bergkuppen, die Achalm bei Reutlingen, der Hohenstaufen und zahlreiche andere, von ihr loslösen. Eine Untersuchung der Gehänge ergibt horizontale Lagerung der Schichten, wenig gestört, wenn auch von einzelnen mehr oder weniger senkrechten Klüften durchsetzt, die aber auf den gesamten Landschaftscharakter keinen oder nur einen äußerst geringen Einfluß ausüben. Erreicht man die Höhe des Absturzes, so befindet man sich auf einer welligen Hochfläche, die ebenfalls hier und da einige Kuppen trägt und sich in der Regel noch zu einer zweiten Terrasse erhebt. Im ganzen zeigt sich eine Oberflächengestaltung, die mit jenen gewaltigen Massenbewegungen nichts zu thun hat; wir sehen lediglich einen reichgegliederten Plateaurand vor uns, der durch allmähliche Erosion entstanden ist. Die mächtige, an 1000 Fuß dicke Kalktafel, die die Höhe der Alb krönt, setzte sich ursprünglich als zusammenhängende Fläche nach Norden fort, sie wurde aber im Laufe vieler Jahrmillionen mehr und mehr von Gewässern angegriffen, abgenagt und eingeengt; der Steilrand läßt die Linie erkennen, bis zu welcher dieser Prozeß vorgeschritten ist.

Ein ganz anderes Bild erscheint, wenn man etwa vom Turme des alten Münsters zu Freiburg im Breisgau Umschau über das umgebende Land hält: im Norden erhebt sich nach allen Seiten frei aus der Rheinebene der Kaiserstuhl, eine Gruppe dicht zusammengedrängter Berge ohne deutlich ausgesprochene Anordnung zu Ketten und weit entfernt von Plateaubildung, wie

sie an der Schwäbischen Alb auftritt. Beim Besuch der Höhen finden wir nur Eruptivgesteine und Auswurfsprodukte, wir sehen lediglich die **Aufschüttungen**, die eine Gruppe von Vulkanen aus der Tertiärzeit um die Ausbruchsstellen aufgeworfen hat. Auch der Kaiserstuhl muß nach dem gewöhnlichen Sprachgebrauch als ein Gebirge gelten, aber auch in ihm finden wir nichts von den tiefgreifenden Störungen, die die großen Formen der Erdrinde verändern und ihre festen Massen verschieben.

Blicken wir von demselben Turme aus nach Osten, so erhebt sich vor uns die dunkle, unförmliche Masse des Schwarzwaldes. Der Hauptsache nach besteht sie aus uralten Gesteinen der Gneis- und Granitfamilie. Die Schichten des Gebirges sind aufgerichtet, aber ihre Richtung übt nur eine untergeordnete Wirkung auf die Kammbildung und die Terrainformen aus; vielfach sind Partien von Absatzgesteinen, namentlich vom Buntsandstein der unteren Trias, dem Urgebirge horizontal an- und aufgelagert. Fragen wir nun, welchem Vorgang der Schwarzwald seine Gestalt als Gebirge verdankt, so erhalten wir die Antwort, daß vielfach in seiner Masse der Längserstreckung parallel, ungefähr von Norden nach Süden Spalten oder Bruchlinien verlaufen, an denen Massenverschiebungen in der Weise stattgefunden haben, daß an der Spalte immer der von der Mittellinie des Gebirges weiter abgelegene Teil abgesunken ist. So [illegible] der Schwarzwald und die Vogesen einst eine zusammenhängende Masse, und das [illegible] zwischen ihnen hat sich gebildet, indem ein breiter Streifen in der Mitte in die Tiefe [illegible] Der Schwarzwald und die Vogesen sind lediglich stehen gebliebene Pfeiler, sogenannte Horste [illegible] in [illegible] Lage erhalten haben, während alles Übrige in der Umgebung [illegible] das Gebirge selbst war ursprünglich weit höher, denn wir haben alle [illegible], daß einst über den höchsten Kuppen noch die ganze, über 100 [illegible] und Juragesteine gelegen habe und im Verlauf der Zeit [illegible]

[illegible] der bedeutenderen Höhen des südlichen Schwarzwaldes, [illegible] dem [illegible], an einem klaren Tage nach Süden, so erblickt man in [illegible] Ausdehnung [illegible] die riesige Zackenmauer der Alpen; vom Hochvogel im Allgäu [illegible] fernen Eisdom des Montblanc drängt sich Gipfel an Gipfel. Hier sind die Schichten [illegible] gestört, zu mächtigen Falten sind die Gesteine aufgestaut und aufgepreßt, in schärfster Entwicklung treten die Kammlinien in mehrfacher Folge hintereinander auf, und jede Kette ist in [illegible] Verlauf von der Schichtstellung, von der Anordnung der Falten und Störungslinien streng abhängig, während die Erosion, wenn auch in riesigem Maßstab thätig, nur die Modellierung [illegible] Einzelheiten bedingt; es ist der vollkommenste Typus eines **Kettengebirges**. Ein anderes Beispiel der Formen eines Kettengebirges sieht man auf der beigehefteten Tafel „Die [illegible] Kette mit den [illegible] Vorbergen".

Arten der Störungen.

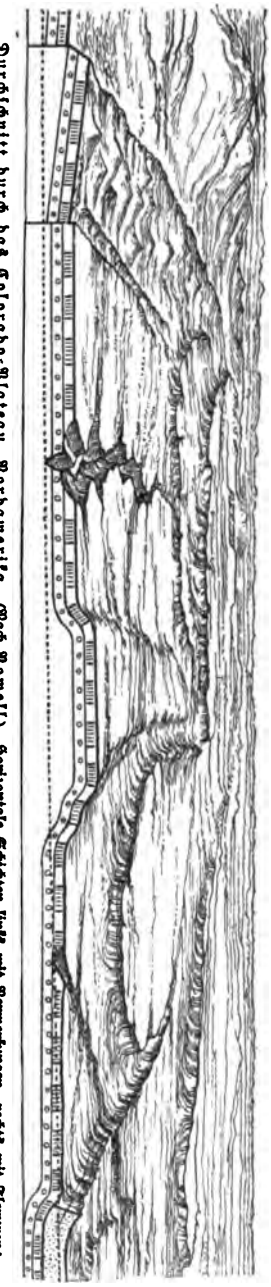
[illegible] von vier auf engem Raume beieinander gelegenen [illegible] wir [illegible] bildenartig vom geologischen Standpunkt die Terrain[illegible] die man [illegible] Gebirge nennt. In den Kuppenanhäufungen [illegible] der Bildung [illegible] Plateauränder mit vorgeschobenen Einzelbergen [illegible] unmittelbare Einwirkung der großen Massenbewegungen der Erdrinde [illegible] tritt uns [illegible] bei den Ketten, in zweiter Linie bei den Massengebirgen entgegen, [illegible] auch über diese [illegible] großartige Vorgänge ähnlicher Art selbst in anscheinenden Tafelländern und bis in die Tiefebenen und Meeresbecken verfolgen können.

DIE ACONCAGUA-KETTE MIT DEN ÖSTLICHEN VORBERGEN.

(Nach der Natur. von A. Goering)

Die vollendeten Wirkungen der gebirgsbildenden Kräfte treten uns als mannigfache Störungen in der Lagerung der Gesteine entgegen, die vorwiegend entweder in die Klasse der Brüche oder der Falten gehören.

Die Brüche sind Spalten, die den Zusammenhang zwischen ursprünglich einheitlichen Massen der Erde zerreißen und meistens senkrecht oder steil in die Tiefe setzen, seltener nur unter geringem Winkel geneigt oder nahezu horizontal sind. Häufig liegen die Seitenwände dieser Spalten dicht aneinander an und haben dann sehr oft glänzende Rutschflächen, wohl auch mit scharf eingeritzten Furchen, die auf eine Verschiebung der Bruchränder gegeneinander hinweisen und die Richtung angeben, in der diese erfolgt ist. Sehr oft aber befindet sich zwischen den beiden Seiten der Spalte ein Zwischenraum, der bisweilen klafft, in der Regel aber durch einen „Gang", eine Ausfüllung durch verschiedene Mineralien, Erze oder aus der Tiefe emporgedrungene Eruptivgesteine, geschlossen ist.



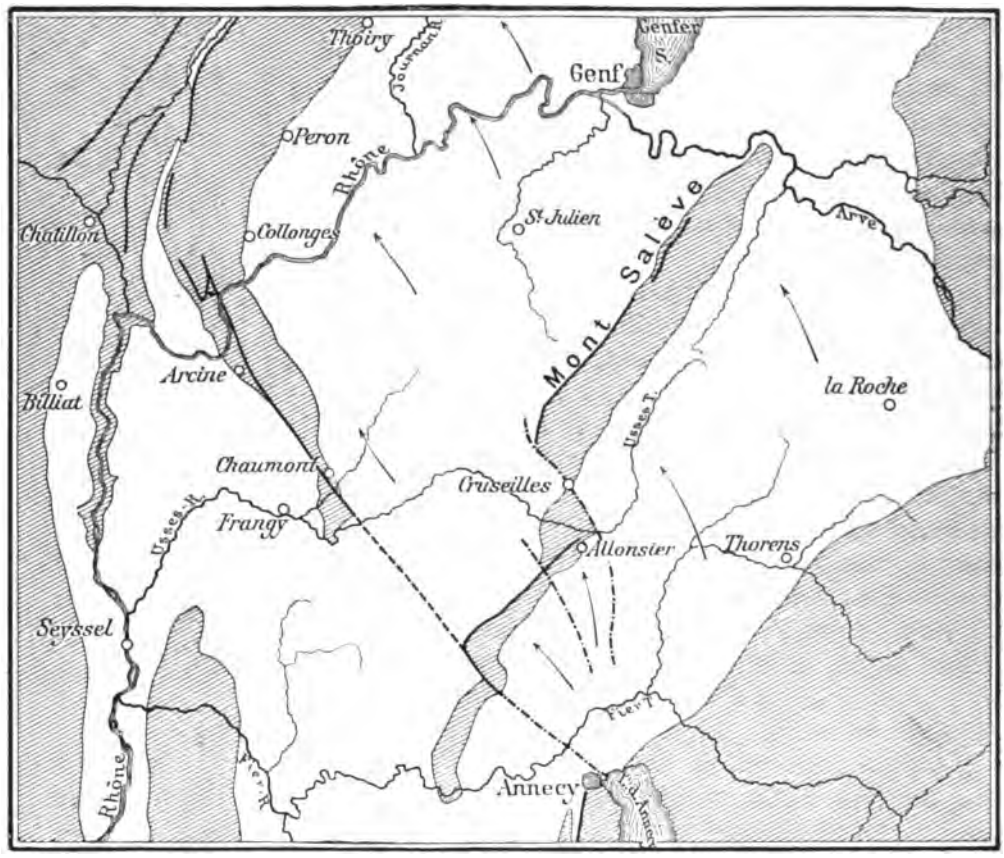
Durchschnitt durch das Colorado-Plateau, Nordamerika. (Nach Powell.) Horizontale Schichten links mit Verwerfungen, rechts mit Flexuren; vielfach überhöht. Vgl. Text, S. 342.

Die Bewegungen der Massen zu beiden Seiten des Bruches sind unter sich sehr verschieden. Die Verschiedenheit besteht zunächst in dem Maße der Verrückung, das in den kleinsten, in der Natur sehr häufigen, aber meist kaum beachteten Fällen nur wenige Zentimeter beträgt, während es bei anderen Brüchen Dimensionen von mehreren Kilometern erreichen kann. Aber nicht nur die Größe, sondern auch die Richtung der Verschiebung zeigt die bedeutsamsten Unterschiede; bei der häufigsten Gruppe, bei den echten „Verwerfungen", findet sie in der Weise statt, daß der eine Flügel längs der in die Tiefe ziehenden Spalte abgesunken, „in die Tiefe geworfen" ist. Eine Reihe solcher Verwerfungen war es, die wir an der Westseite des Schwarzwaldes kennen gelernt haben; sie bedingten es, daß dieser als Gebirge über seine Umgebung hervorragt. Aber man kennt viele Fälle, in denen bedeutende Verwerfungen an der Oberfläche gar nicht sichtbar sind; statt einen riesigen Steilabsturz zu finden, gehen wir über eine solche Spalte weg, ohne sie zu bemerken, da sie mit Humus und Vegetation verdeckt ist und die allgewaltige Wirkung der Denudation alle Unterschiede schon längst wieder ausgeglichen hat. Es gibt wenige Erscheinungen, die von dem ungeheuern Einfluß der Abtragung wie von der Länge der Zeiträume und der Langsamkeit der gebirgsbildenden Vorgänge einen so mächtigen Beweis liefern wie diese riesigen Bruchlinien, die wir an der Oberfläche gar nicht sehen, während sie ohne den Einfluß der abtragenden Kräfte hohe senkrechte Riesenmauern wären.

Eine bei Verwerfungen häufige Erscheinung ist die sogenannte „Schleppung der Bruchränder". Man sieht zum Beispiel bei horizontalen Ablagerungen, daß unmittelbar an der Spalte die Schichten des tiefer abgesunkenen Flügels nach aufwärts, die des anderen nach abwärts gebogen sind. Diese Schleppung kann nur in der Weise erklärt werden, daß, ehe der Bruch erfolgte, die eine Scholle schon absank und dabei ein Stück des Schichtmaterials

nach abwärts gebogen wurde; als später der Betrag der Senkung auf der einen Seite größer wurde, die Spannung wuchs und endlich die Elastizitätsgrenze überschritten wurde, zerriß der geneigte Zwischenschenkel, und seine Reste blieben als geschleppte Spaltenränder auf beiden Seiten des Bruches zurück.

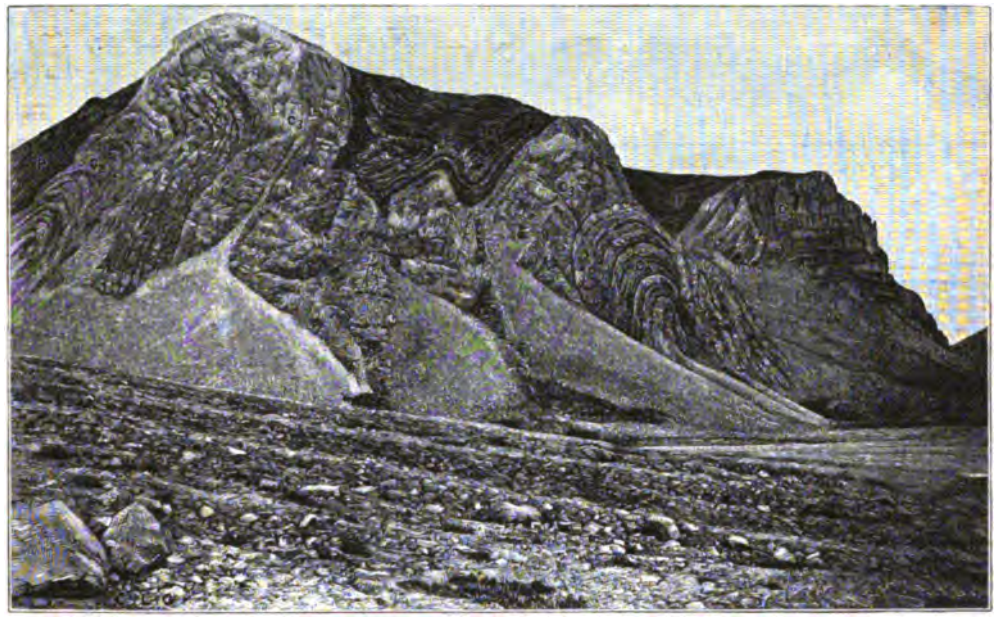
Oft ist es nicht bis zur Bildung des Bruches gekommen, sondern wir finden, daß sich ein horizontales Schichtsystem plötzlich steil in die Tiefe neigt, um sich dann in tieferem Niveau wieder ungestört und wagerecht auszubreiten. Solche Lagerungsformen bezeichnet man als Flexuren



Verschiebungen der Kette des Mont Salève, zwischen Genf und Annecy. Die Pfeile deuten die Richtung der Bewegung an. (Nach H. Schardt.) Vgl. Text, S. 344 und 346.

(s. Abbildung, S. 341). Das abgebogene Mittelstück zwischen den horizontalen Tafeln kann verschiedene Grade von Steilheit annehmen. Wir finden, daß Flexuren in ihrem Verlauf in immer flacherer Beugung allmählich ausklingen können, beobachten aber ebenso oft einen Übergang in steile Brüche mit beträchtlicher Absenkung einer Seite. Sonach sind Flexuren und Verwerfungen nicht wesentlich verschieden. Es kommt vor, daß der Betrag der Senkung an einer und derselben Linie wechselt, ja, es ist selbst beobachtet worden, daß bald der rechte, bald der linke Flügel derselben Störung gesunken ist; im allgemeinen aber geben sich solche Dislokationen ihrem Wesen nach als Folge von Senkungen, von Bewegungen nach unten, zu erkennen, wenn auch zu bemerken ist, daß ähnliche Lagerungsformen, sogenannte Knie- oder Staffelfalten, auch durch Faltung zu stande kommen können. In zweifelhaften Fällen geben die geotektonischen Verhältnisse der Umgebung Anhaltspunkte für die richtige Deutung.

Wo Bewegungen nach abwärts in größerem Maße stattfinden, muß die einheitliche Ursache eine gewisse Regelmäßigkeit in der Anordnung der Brüche zur Folge haben. Dies wird besonders der Fall sein, wenn das zu Bruche gehende Gebiet geologisch einheitlich und einfach gebaut ist, wie z. B. ein Tafelland mit horizontalen oder flach geneigten Schichten. Wir werden dann gewisse Haupttypen der Anordnung der Brüche unschwer festhalten können. So finden wir, daß Senkungsfelder nicht selten in weitem Bogen oder polygonal begrenzt sind. Die Brüche, die diese Umzeichnung vermitteln, nennen wir peripherische Brüche und unterscheiden davon die radialen Sprünge, die mehr oder minder strahlenförmig gegen die am stärksten gesunkene Mitte ziehen, und die unregelmäßig gestellten diagonalen Sprünge. In

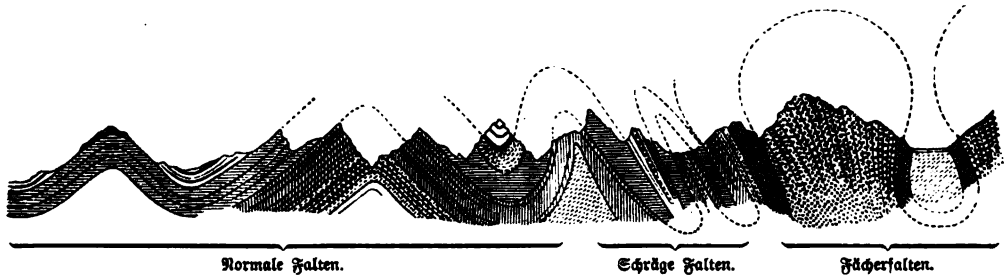


Faltungen im Kohlenkalk am Eingange des Mankshang-Passes im zentralen Himalaja.
C_2, C_3 Schichtengruppen der Kohlenformation, P Permformation. (Nach L. C. Griesbach.) Vgl. Text, S. 346.

anderen Fällen haben Bruchfelder eine gestreckte Tafelform, sie werden oft von einem wahren Netz von verschiedenartig sich kreuzenden Brüchen und Flexuren, seltener von mehr parallelen Sprüngen durchzogen, deren Sprunghöhe eine unregelmäßig wechselnde ist. Man bezeichnet solche Brüche als Tafelbrüche.

Berücksichtigen wir das Höhenverhältnis benachbarter Bruchschollen, so können wir wiederum eine Reihe typischer Fälle unterscheiden. So beobachtet man nicht selten, daß sich entlang einer Reihe ungefähr paralleler Bruchflächen ein Abgleiten der Schollen in gleichem Sinne vollzieht; der Betrag der Verwerfung summiert sich, und die einzelnen Schollen nehmen zu einander die Stellung von Staffeln oder Treppen ein, weshalb für solche Erscheinungen der Name Staffel- oder Treppenbrüche angenommen worden ist. Manche streifenförmige Schollen können viel tiefer eingesunken sein als ihre Nachbarn, und so entstehen Gräben oder Grabensenkungen. Das Gegenstück hierzu bezeichnet man mit Sueß nach einem alten, im Bergbau üblichen Namen als Horst und versteht darunter in ursprünglicher oder verhältnismäßiger Höhe stehen gebliebene Rücken oder Pfeiler, von denen nach beiden Seiten Senkungen von mehr oder minder ausgeprägter Treppengestalt abfallen.

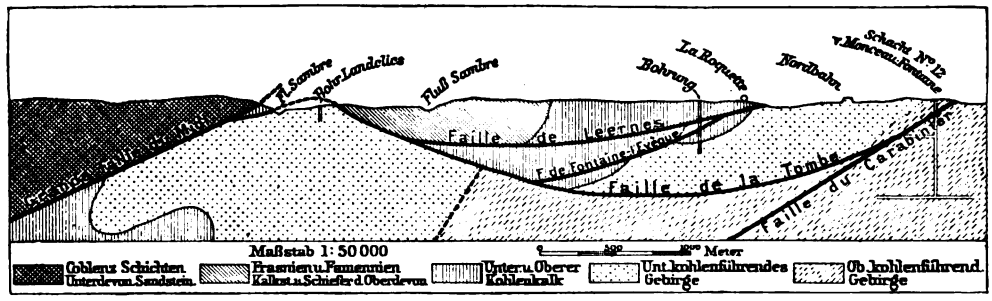
Wir haben hier eine Reihe von Bruchtypen aufgestellt; es wäre aber ein Irrtum, zu glauben, daß damit die Mannigfaltigkeit der Erscheinungen erschöpft sei. Die Verhältnisse gestalten sich in der Natur oft komplizierter; dies tritt besonders dann ein, wenn Bruchbildung im Gefolge von Faltung vorkommt oder ein altes, vordem gefaltetes und daher mannigfaltig gebautes Gebirge der Bruchbildung anheimfällt. Auch in solchen Gebieten wird man wohl randliche und diagonale Brüche, Horste und Grabensenkungen unterscheiden können, aber die ganze Anordnung der Bruch-



Verschiedene Arten von Falten. (Nach Heim.) Vgl. Text, S. 346.

linien wird oft in so hohem Grade von jedem Schema abweichen, daß es einer genauen Kenntnis des Gebirges bedürfen wird, um das Gesetzmäßige in der scheinbaren Regellosigkeit zu erfassen.

Neben den echten Verwerfungen, bei denen einfach ein Flügel an der Spalte abgesunken ist, kommen aber auch Brüche vor, an denen eine mehr oder minder starke Verschiebung in horizontalem Sinne stattgefunden hat. Ziemlich häufig sieht man z. B. in den Alpen den

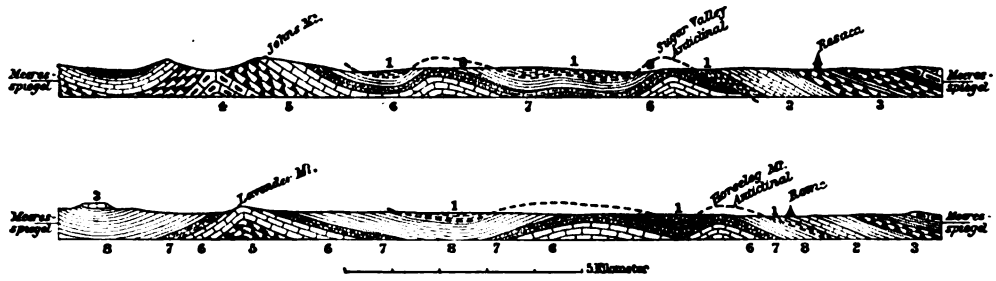


Überschiebungen im belgischen Kohlenfeld bei Landelies. (Nach A. Briart.) Vgl. Text, S. 347.

Fall, daß die geologische Zusammensetzung der Höhen zu beiden Seiten eines einem Bruche folgenden Thales sich nicht ganz entspricht, sondern daß die zusammengehörigen Gesteinszonen auf der einen Thalseite weiter oben, auf der anderen ein Stück weiter thalabwärts auftreten, eine Erscheinung, die nur durch eine horizontale Verschiebung erklärt werden kann. Eine solche Verschiebung quer auf das Streichen kennt man durch Studer aus der Gegend des oberen Thuner Sees; der Vorschub des vorgerückten Flügels gegen den zurückgebliebenen beträgt in diesem Falle eine Meile. Ähnliche Erscheinungen beschrieb Kaufmann aus der Molassezone[1] zwischen dem Thuner und dem Züricher See, und wiederholte, sehr deutliche Verschiebungen dieser Art zeigt die Kette des Mont Salève zwischen Genf und Annecy in der merkwürdigen Gegend, wo sich die Juraketten vom Alpengebirge abgliedern (s. Abbildung, S. 342). Der Betrag der Verschiebung

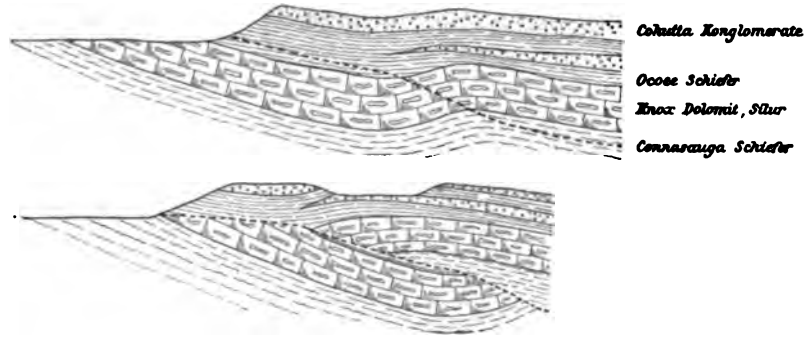
[1] Die Molassezone besteht aus Gesteinen der jüngeren Tertiärzeit und bildet die nördlichsten und geologisch jüngsten gefalteten Ketten der Alpen. (Vgl. weiter unten S. 359.)

ist oft viel kleiner als bei den genannten Beispielen, ja bisweilen nur sehr unbedeutend, aber in diesem Falle pflegen solche Querverschiebungen sehr zahlreich aufzutreten und förmlich in Schwärmen das Gebirge zu durchsetzen. In manchen Fällen sind die Verschiebungsklüfte mit wertvollen Erzen erfüllt, mit Bleierzen bei Raibl in den Südalpen, mit goldführenden Mineralen bei Gastein und Rauris in den Tauern. Die Bergleute in den Alpen haben diese erzführenden Spalten „Blätter" genannt, und E. Sueß hat diesen Ausdruck auf die ganze Gruppe der mit Horizontalverschiebung verbundenen Dislokationen ausgedehnt.



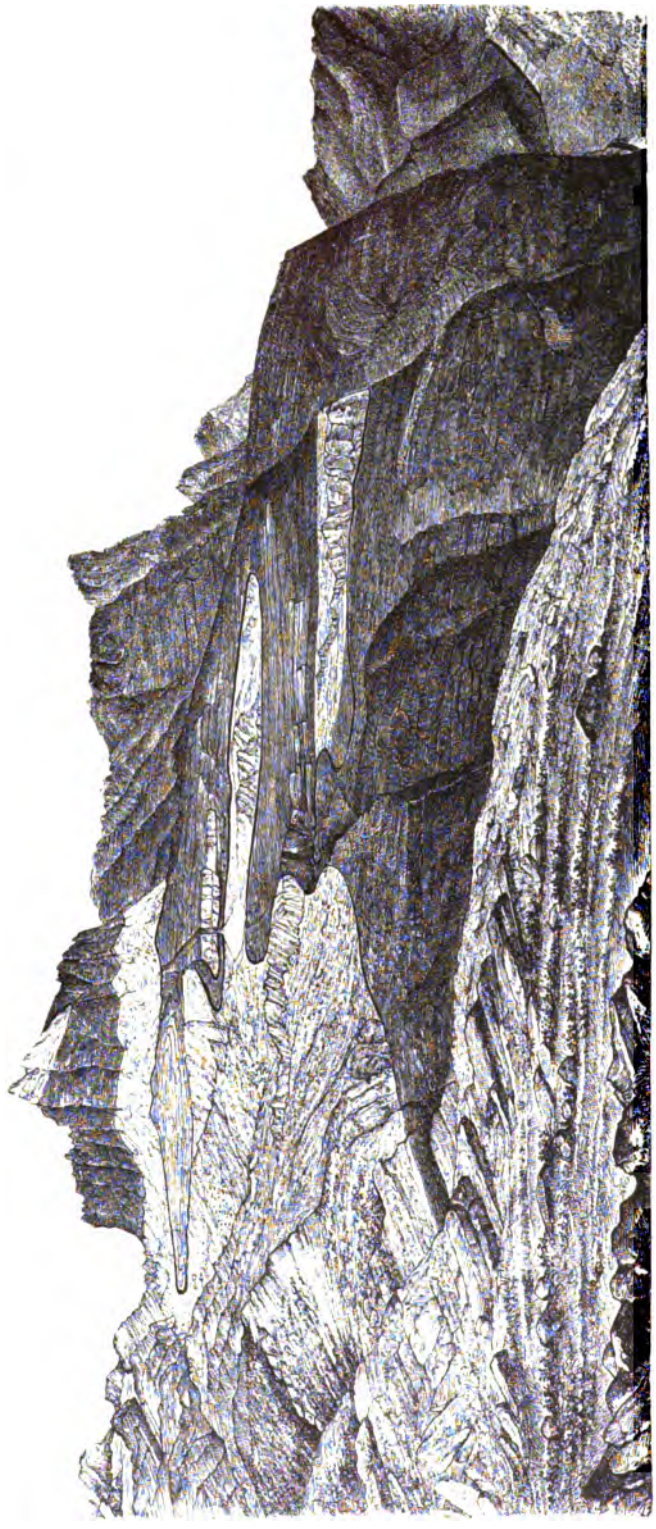
Überschiebung in den Appalachen. (Nach C. W. Hayes).

Kambrium: 1) Coosa-Schiefer; 2) Rome-Sandstein und Weisner Quarzit; 3) Connasauga-Schiefer. — Silurformation: 4) Knox-Dolomit; 5) Chickamauga-Kalkstein und Rockmart-Schiefer; 6) Rockwood-Bildung. — Unterste Kohlenformation: 7) Fort Payne-Hornstein; 8) Floyd-Schiefer.



Entstehung der appalachischen Überschiebung. (Nach C. W. Hayes.) Vgl. Text, S. 348.

Die Blattflächen sind oft buckelig, stets aber geglättet und sehr häufig mit ungefähr horizontalen oder leicht geneigten Striemen und Furchen überzogen, die die Richtung der Bewegung verraten. Es kommt vor, daß die Schichten an einem solchen Blatte nicht scharf abschneiden, sondern eine „Schleppung", eine leichte Umbeugung in der Bewegungsrichtung, erkennen lassen; und ähnlich wie eine Absenkung gegen die Tiefe mit Schleppung zur Flexur überführt, so ist auch eine Blattverschiebung nicht wesentlich verschieden von einer sogenannten Schiebungsflexur oder einer Sigmoide (E. Sueß), bei der die horizontale Verrückung durch eine zusammenhängende oder nur teilweise von Bruch durchsetzte Umbiegung erfolgt. So sehen wir die Kalkalpenzone der nordöstlichen Schweiz da, wo sie den Rhein überschreitet, durch die südlich davon aufbrechende Triaskalkzone der Ostalpen bogenförmig nach Norden geschoben. In ähnlicher Weise erscheint der westliche Teil der Kalkzone der Hohen Tatra in der Gegend des Bialkathales um ungefähr 5 km weiter gegen Norden gerückt als der östliche, und der Übergang vollzieht sich unter Bildung einer solchen, teilweise von Bruch durchsetzten Sigmoide. Die räumliche und ursachliche Verbindung dieser Erscheinung mit Blattverschiebungen führt sehr anschaulich die oben

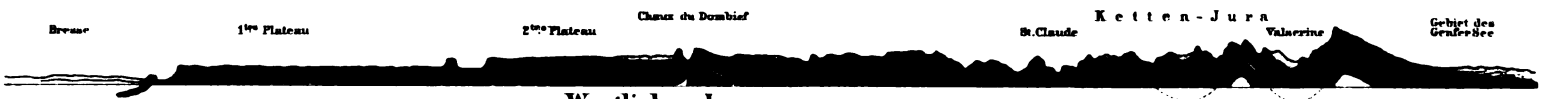


Das Stellihorn im Urbachthal (Berner Oberland). Der Gneis ist hell, der Kalk des oberen Jura dunkel gezeichnet; die wenig mächtigen Schichten auf der Grenze zwischen beiden (mittlerer Jura, Dolomit) sind durch eine schwarze Linie angegeben. Vgl. Text, S. 349.

erwähnte Gegend bei Annecy vor. Der Horizontalschub, der die Kette des Mont Salève in eine Anzahl gegeneinander verrückter Teilstücke zerschlagen hat, bewirkte eine bogenförmige Umbiegung des Südendes der nächstfolgenden Jurakette des Reculet (s. Abbildung, S. 342).

Am großartigsten und jedenfalls am augenfälligsten äußert sich die Wirkung der gebirgsbildenden Kräfte in der Faltung ursprünglich horizontal abgelagerter Schichten. Diese werden hierbei in Sattelform aufgewölbt; da aber kaum jemals eine Falte isoliert auftritt, sondern immer mehrere parallel zu einander verlaufen, so entstehen zwischen den Sätteln oder Antiklinalen stets Mulden oder Synklinalen (s. Abbildung, S. 343). Je nach der Stellung der Schenkel einer Falte zu einander und zur Horizontalebene unterscheidet man stehende, schiefe, liegende und fächerförmige Falten, wie dies die Abbildung auf S. 344, oben, versinnlicht.

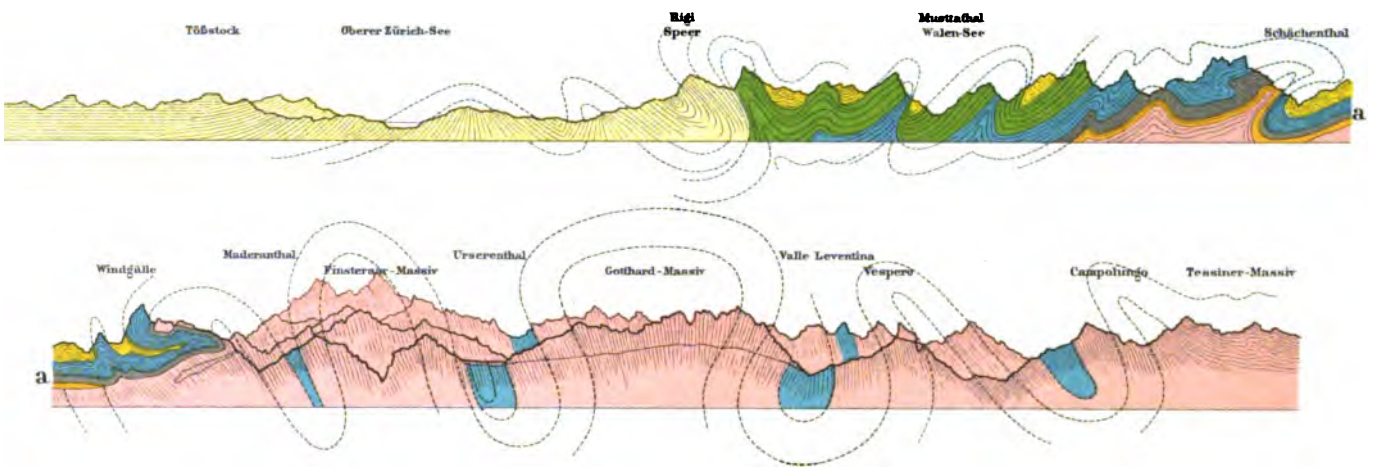
Falten können die großartigsten, aber auch die kleinsten Dimensionen annehmen; bald sind sie mit schematischer Regelmäßigkeit ausgebildet, bald in fast unentwirrbarer Weise verwickelt. In der Mehrzahl der Fälle lassen sich die großen Hauptfalten



Westlicher Jura nach P. Choffat 1:250000

Mittlerer Jura nach Thurmann 1:250000

Östlicher Jura 1:200000



Nordabfall der Zentralalpen

Trias | Kreide | Eocän | Miocän | Oberer Jura | Lias und mittlerer Jura | Krystallinischer Schiefer und paläozoische Bildungen

Profile aus den Alpen und dem Schweizer Jura (nach *Heim*).

Bibliographisches Institut in Leipzig.

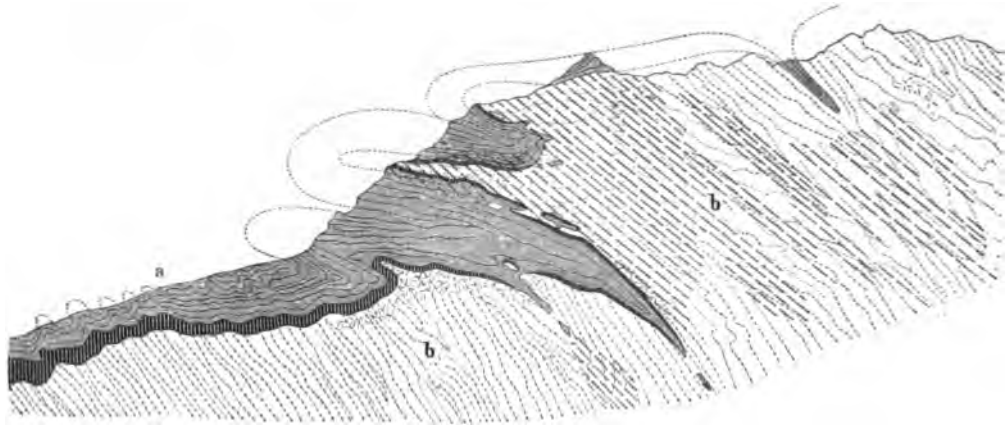
dem Streichen nach viele Meilen weit verfolgen; es wird beobachtet, daß sie sich an ihrem Ende verflachen und durch andere Falten abgelöst werden, oder daß sie sich spalten. Eine und dieselbe Falte kann je nach Umständen verschiedene Formen annehmen: aus der normalen kann eine schiefe, ja selbst eine liegende Falte werden. Die Art und Weise, wie sich Falten im Gebirge miteinander verbinden und durch ihre verschiedene Beschaffenheit eigentümliche Gebirgstypen kennzeichnen, geht deutlicher als aus einer Beschreibung aus der beigehefteten Tafel „Profile aus den Alpen und dem Schweizer Jura" hervor.

Bei der Faltung wird die Elastizität und Festigkeit der Gesteine stark in Anspruch genommen, am meisten natürlich an den Umbiegungsstellen. Hier kommt es nicht selten zu vollständigen Zerreißungen der Schichten, zu Brüchen entlang der Faltenachse, und auf den Bruchflächen kann in solchen Fällen eine **Überschiebung** des hangenden Teiles der Falte über den liegenden erfolgen. Wenn nun dieser Vorgang nicht vereinzelt auftritt, sondern sich in mehreren aufeinander folgenden Falten wiederholt, so entstehen zahlreiche, ungefähr parallele Längsbrüche, sogenannte **Wechsel** und **Faltenverwerfungen**, und an Stelle der regelmäßigen Falten treten ebensoviel von E. Sueß „Schuppen" genannte Bänder, deren jedes dieselbe Schichtfolge wiederholt.

Gefalteter Schiefer mit zwei kleinen Verschiebungen. (Nach Heim.) Vgl. Text, S. 349.

Die merkwürdigen Erscheinungen der Überschiebung haben schon frühzeitig die Aufmerksamkeit der Geologen erregt. Man weiß z. B. schon seit vielen Jahren, daß die kristallinische Masse des Lausitzer und des Jeschkengebirges an ihrem Innenrande durch einen südöstlich streichenden und steil gegen Nordosten einfallenden Bruch begrenzt ist, und daß auf dieser Linie Granit und andere archäische Felsarten von Norden her über die Jura- und Kreideformation des sächsisch-böhmischen Kreidegebirges geschoben sind. Die Überschiebungszone ist von Oberau bei Meißen bis nach Liebenau unweit Zittau auf eine Strecke von 127 km weit verfolgt worden. Dieselbe Erscheinung wiederholt sich in kleinerem Maßstab am südwestlichen Rande der böhmischen Masse bei Voglarn unweit Ortenburg in Bayern. Noch weit großartiger ist jene ebenfalls altbekannte, gegen Norden gerichtete Überschiebung, die sich aus der Gegend von Boulogne am Pas de Calais bis in die Gegend von Aachen 380 km weit erstreckt. Nichts deutet auf der Oberfläche des von der Kreideformation bedeckten flachen Hügellandes auf die außerordentlichen Störungen im geologischen Bau des Untergrundes, und wir würden wohl niemals eine nähere Kunde darüber erlangt haben, wenn es nicht die flözreiche Kohlenformation wäre, die von diesen Störungen betroffen wurde. Der reiche Bergsegen hat hier einen ausgedehnten und intensiven Bergbau hervorgerufen, und durch diesen wissen wir, daß über die produktive Kohlenformation von Süden her der geologisch ältere Kohlenkalk und selbst die Devonformation überschoben wurde. Die Zeichnung auf S. 344, unten, gibt eine Vorstellung von der ungewöhnlichen Komplikation dieser Überschiebung, deren Großartigkeit am besten aus dem Umstande erhellt, daß die Mächtigkeit der bereits durch Denudation verminderten Reste der flözführenden Schichten auf 2100 m, jene des überschobenen Kohlenkalks und Devons auf 2500 m geschätzt wird.

In neuerer Zeit hat man den Überschiebungen wieder ein erhöhtes Interesse entgegengebracht, und es hat sich gezeigt, daß sie verbreiteter und mannigfaltiger sind, als man früher angenommen hatte. E. Sueß wies darauf hin, daß namentlich der Außenrand stark gefalteter Ketten an der Grenze gegen ein flaches, stauendes Vorland die Neigung zur Überstürzung und Überschiebung verrate; Mühlberg beschrieb sehr merkwürdige Überschiebungen vom Nordrande der Jurakette, M. Bertrand verfolgte diese Erscheinungen bei Allauch, Beaussет, Draguignan und in der Kette der St.-Beaume am Nordrande des hyerischen Massivs in der Provence, ferner in den Corbières (Pyrenäen); in Schottland erkannte man Überschiebungen in vielfacher Wiederholung, in den Alpen kommen sie häufig vor, und auch aus den Appalachen im östlichen Nordamerika wurden solche durch C. W. Hayes und B. Willis beschrieben. Die letztgenannten Verschiebungen sind auf eine Strecke von nicht weniger als 440 km verfolgt worden. Sie beginnen an der Grenze von



Schematisches Profil der „Kalkkeile" im Gneis des Berner Oberlandes. a) Kalk — b) Gneis. (Nach Baltzer.) Vgl. Text, S. 349.

Tennessee und streichen gegen Südsüdwesten. Durch die westliche wurden kambrische Bildungen in das Hangende der Kohlenformation, durch die östliche metamorphische Schiefer in das des fossilführenden Kambriums gebracht. Was bei diesen appalachischen Störungen, ähnlich wie bei den provençalischen, besonders auffällt, ist die überaus flache, bisweilen kaum 5 Grad betragende Neigung der Überschiebungsfläche (s. Abbildung, S. 345). Dies erklärt sich in befriedigender Weise, wenn man mit Willis und Hayes annimmt, daß die Bewegung von einer leichten Kniefalte ihren Ausgang genommen hat und durch die eigentümliche Zusammensetzung des betroffenden Schichtenverbandes begünstigt worden ist (s. Abbildung, S. 345, unten). Eine sehr starre Bildung, der Knoxdolomit (Untersilur), schaltet sich hier nämlich zwischen zwei schieferige Schichtgruppen ein, die Connasaugaschiefer im Liegenden, die Ocoeeschiefer im Hangenden. Zu starr, um eine volle Faltung zuzulassen, barst der Knoxdolomit, und die Beschaffenheit und Lagerung der begrenzenden Schiefer ermöglichte die Anlage der schwach geneigten Überschiebungsfläche und die weit vorgreifende Bewegung darauf.

Unter anderen Verhältnissen mußten sich derartige Bewegungen in den Alpen und anderen Kettengebirgen vollzogen haben, denn dort sehen wir die Überschiebung hauptsächlich bei schiefen Falten mit gänzlich oder fast vollkommen zusammengelegten Schenkeln eintreten, verbunden mit Zerrung, ja selbst völliger Auswalzung oder Unterdrückung des Mittelschenkels. Während also in einem Falle die Faltung mit Bruch verbunden war, sehen wir anderseits Gesteine, die unter

gewöhnlichen Verhältnissen starr sind, sich nahezu plastisch verhalten, und zwar zeigen dieses Verhalten nicht etwa nur die wenig widerstandsfähigen Gesteine, wie Thon, Thonschiefer, Glimmerschiefer und dergleichen, sondern auch spröde Massen, wie Kalksteine, Dolomite, Sandsteine, und selbst die härtesten und starrsten Gesteine, wie Quarzite, Hornsteine und Feuersteine, konnten die stärksten Krümmungen und Faltungen erleiden, ohne in Scherben und Splitter zermalmt zu werden.

Man könnte etwa vermuten, daß die Faltung in solchen Fällen vor sich gegangen sei, ehe die Gesteine erhärtet waren; allein eine solche Annahme ist unhaltbar. Wir kennen Vorkommnisse, in denen eine und dieselbe Falte Gesteine paläozoischen und jungmesozoischen, ja sogar tertiären Alters umfaßt, und geradezu unzählig sind die Beispiele, wo z. B. die ganze mesozoische Schichtreihe in einer Falte vertreten ist. Es wird wohl kein Geolog der Ansicht sein, daß z. B. der Buntsandstein noch eine lose Sandbildung, der Muschelkalk ein unzusammenhängendes Haufwerk von Schalenzerreibsel war, als sich die obere Kreide ablagerte; um so weniger als in Konglomeraten dieses und selbst höheren Alters schon die Bruchstücke des vollständig erhärteten Gesteins vorkommen (z. B. fester Jurakalk in Neokomgesteinen der Karpathen). Merkwürdig sind in dieser Beziehung die von Baltzer eingehend geschilderten Lagerungsverhältnisse auf der Grenze zwischen dem Gneis der Finsteraarhornmasse und den anlagernden sedimentären Gesteinen: horizontal gelagerte, keilförmige Partien von Gneis und Jurakalken greifen hier fingerförmig ineinander; an der Jungfrau, am Wetterhorn, Mettenberg, Gstellihorn und anderen Bergen treten diese Erscheinungen in auffallendster Weise auf. Die Abbildung auf S. 346 gibt halbschematisch die Erscheinung wieder, wie sie am Gstellihorn zu sehen ist, und läßt das mehrfache Ineinandergreifen der heller gehaltenen Gneise und der dunkleren Kalke deutlich erkennen. Die langen Kalk- und Gneiskeile nehmen eine Form an, wie wenn sie sich zur Zeit der Faltung noch in teigartigem, unverfestigtem Zustand befunden hätten, und doch wissen wir bestimmt, daß das archäische Gestein zur Zeit seiner Einfaltung in den Jurakalk bereits so starr war wie heute.

Mehrfach zerrissener und auseinander gezerrter Belemnit auf einem Schieferstück. Die schwarzen Stücke sind die einzelnen Bruchstücke des Belemniten, zwischen ihnen liegt heller Kalkspat. Die kleinere Figur a stellt einen Querbruch durch das Stück dar. (Nach Heim.) Vgl. Text, S. 350.

In vielen Fällen ist das Material in der Gegend der stärksten Biegung allerdings zerbrochen, es tritt rupturelle Deformation (Reyer) neben plastischer ein (s. Abbild., S. 347), aber sehr häufig sieht man auch homogene Schichten gekrümmt, ohne daß das freie oder selbst das mit der Lupe bewaffnete Auge darin Spuren von Rissen entdecken könnte. In konglomeratischen Lagen nehmen die Geschiebe unter der Einwirkung des Gebirgsdruckes eine parallele Anordnung an, sie erscheinen, wie wir namentlich durch Reusch wissen, in die Länge gezogen und selbst verbogen und gefaltet. Die feinsten Mineralelemente vieler Schiefer ordnen sich unter der Einwirkung des seitlichen Druckes nicht selten parallel an, das Gestein erhält dadurch eine sekundäre, die sogenannte transversale oder falsche Schieferung (s. Abbildung, S. 348), welche fast immer deutlicher ausgesprochen ist als die ursprüngliche, wahre Schichtung. Versteinerungen sind häufig verzerrt und schief in die Länge gezogen, und in gewissen Oberjurakalken der Schweiz kommen Belemniten vor, die fast auf das

Dreifache ihrer ursprünglichen Länge auseinandergezerrt sind, obwohl die sie enthaltenden Gesteinsplatten vollkommen homogen erscheinen (s. Abbildung, S. 349). Das sind alles Erscheinungen, die sich ohne einen gewissen Grad von Plastizität der gefalteten Gesteine nicht erklären lassen.

Nach Heim hat man die bruchlose Umformung der Gesteine hochgradigem Belastungsdruck zuzuschreiben, der sich in gewissen Tiefen unter der Erdoberfläche, wo die Gesteine weit über ihre Festigkeit belastet sind, in der Art des hydrostatischen Druckes nach allen Richtungen fortpflanzt und in den Gesteinen einen latent plastischen Zustand hervorruft. Wenn nun durch einen seitlichen, langsam wirkenden Druck eine Gleichgewichtsstörung eintritt, so hat diese eine Umformung ohne Bruch zur Folge. Experimente von Spring und F. Kick unterstützen diese Anschauung. Der erstere Forscher konnte Pulver und Feilspäne von Blei, Wismut, Zinn, Zink, Aluminium, Kupfer, Antimon, Platin, Schwefel und Manganoxyd durch einen Druck von 2—6000 Atmosphären zu einheitlichen Blöcken, zum Teil mit kristallinischem Bruch, umbilden; Kick setzte einen Marmorcylinder, der in einem starken gußeisernen Gefäß genau passend eingeschlossen war, einem hohen Druck aus; der Marmor wurde hierdurch deformiert und verhielt sich unter dem allseitigen Druck wie eine plastische Masse. Stapff beobachtete an einem schmalen Marmorpfosten der Alhambra zu Granada eine bruchlose Ausbiegung, die ebenfalls unter dem Einfluß des Druckes des auflastenden Gemäuers zu stande gekommen war.

Gefalteter Thonschiefer, an der Biegungsstelle von zahlreichen Sprüngen durchsetzt; natürl. Größe.

Die Untersuchung der sogenannt bruchlos gefalteten Gesteine unter dem Mikroskop hat interessante Ergebnisse gefördert. Gümbel hat z. B. Proben der stärkstgebogenen Stellen aus scheinbar ganz bruchlos gefalteten Gesteinen in Dünnschliffen untersucht und gefunden, daß diese Stücke, die dem freien Auge und selbst unter der Lupe ganz unzerbrochen erschienen, sich bei starker Vergrößerung als zu feinem Staub zermalmt und dann wieder zusammengekittet erwiesen (s. obenstehende Abbildung). Bei glimmerführenden Gesteinen sieht man unter dem Mikroskop die Glimmerschüppchen in der Regel gestreckt, an den Spitzen und Umbiegungsstellen ausgefasert und aufgeborsten, die Hornblendekristalle sind häufig zerstückelt und geknickt, und ähnlich verhalten sich die Feldspate. Auch der Quarz zeigt in solchen Gesteinen Spuren einer Verschiebung der Teilchen. Auf diese Weise entsteht eine eigentümliche Mikrobreccien- oder Kataklasstruktur. Soweit sich die Erscheinungen gegenwärtig überblicken lassen und es sich um die uns zugänglichen Gesteine handelt, scheint also die sogenannte bruchlose Umformung in einem Gleiten der einzelnen kleinsten Teilchen aneinander, in einer langsamen Umlagerung und späteren Wiederverfestigung zu bestehen, bei der es aber nicht ohne Quetschungen und Zerreißungen der Partikelchen abgeht. Umstände, die ein derartiges Gleiten der Teilchen begünstigen, werden dem

Prozeß förderlich sein müssen; so hat die Bergfeuchtigkeit, das in dem Gestein enthaltene Wasser, gewiß einen bedeutenden Einfluß, indem es wesentlich zur Verminderung der inneren Reibung beiträgt. Die Einschaltung thoniger Teilchen oder eingewachsene Blättchen biegsamer Minerale, wie Chlorit, Glimmer, Talk, müssen ebenfalls die Geschmeidigkeit des Gesteins erhöhen, und jedenfalls dürfte nicht nur die Stärke, sondern auch die Dauer und Gleichmäßigkeit des Druckes von Bedeutung sein.

Die Stärke des zur Erzielung bruchloser Faltung notwendigen Druckes hängt natürlich von der Beschaffenheit des Materials ab. Willis und Hayes berechnen, daß ein Druck von 11,000—34,000 engl. Pfund auf den Quadratzoll genügen würde, um den silurischen Kalkstein der Appalachen bruchlos zu formen. Heim nahm an, daß alle Gesteine schon in der Tiefe von etwa 2000 m durch den Druck des auflastenden Schichtmaterials in einen plastischen Zustand übergehen. Aber diese Behauptung hat entschiedenen Widerspruch gefunden und ist nicht haltbar. Die Verhältnisse in den großen Alpentunnels, in den tiefen Bohrlöchern (das tiefste, zu Paruschowitz in Oberschlesien, ist auf mehr als 2000 m niedergestoßen) stehen damit im Widerspruch, und Reyer hat darauf hingewiesen, daß es nicht statthaft ist, an der Basis einer Gesteinssäule in der Erdrinde denselben Druck vorauszusetzen, den dieselbe Säule freistehend auf ihre Unterlage ausüben würde, weil Teile der Säule durch den Seitendruck suspendiert werden und daher ein wesentlich geringerer Druck auf die Unterlage fortgepflanzt wird. In derselben Weise hat man auch gezeigt, daß die starren Gesteinszonen einer Schichtfolge das Gewicht der auflagernden Masse tragen können, ohne den Druck der Unterlage zu übermitteln. Man wird also die Zone des allseitigen Druckes in der Erdrinde wohl in eine bedeutend größere Tiefe zu verlegen haben.

Nachdem wir eine Reihe von Störungen der Schichtlagerung kennen gelernt haben, drängt sich uns die Frage nach den *Kräften* auf, die diese Erscheinungen hervorgebracht haben. Hierbei sind zwei verschiedene Seiten des Problems ins Auge zu fassen. Zunächst müssen wir den Gegenstand rein mechanisch untersuchen und feststellen, in welcher Richtung eine Kraft auf eine Gesteinsschicht wirken muß, um eine Falte, eine Verschiebung in dieser oder jener Richtung, hervorzubringen. Wir befassen uns dabei nicht mit der Frage, woher diese Kraft rührt, mit welchen Vorgängen deren Entwickelung in Zusammenhang steht; es ist uns daher ganz gleichgültig, ob es sich um ein in der Natur auftretendes Vorkommnis oder um eine ähnliche Erscheinung handelt, die wir im Laboratorium künstlich hervorrufen, oder um einen rein ersonnenen Fall, den der Mathematiker seiner Rechnung unterzieht. Erst wenn wir uns darüber klar sind, kommt das weitere und für den Geologen viel bedeutungsvollere Problem zur Sprache, wie die Störungen in der Natur entstanden sind, und hier dürfen wir uns natürlich nicht mit den einzelnen Erscheinungen als solchen befassen, sondern müssen ihren Zusammenhang im großen, wie ihn ein ganzes Gebirgssystem zeigt, zu überblicken suchen.

Wir wenden uns zuerst zu dem einfachsten Fall, zu einer senkrecht in die Tiefe gehenden Spalte, an der die beiden anstoßenden Flügel ebenfalls senkrecht gegeneinander verschoben sind. In diesem Falle ist es klar, daß eine vertikal von oben nach unten oder umgekehrt wirkende Kraft wenigstens bei der Verschiebung der Massen thätig gewesen sein muß, wobei immerhin die Spalte selbst in anderer Weise entstanden sein kann. Sind dagegen an einer irgendwie gearteten Spalte die beiden Ränder horizontal gegeneinander verschoben, so muß eine horizontale Kraft, ein seitlicher Druck, gewirkt haben. Was endlich die Falten betrifft, so ist die Sache nicht auf den ersten Blick ebenso klar. Ein Faltensattel kann in der Weise gebildet sein, daß die Kammlinie senkrecht von unten emporgedrängt ist, so daß also eine Reihe nebeneinander gelegener Falten durch ebenso viele selbständige Hebungslinien bedingt sein müßte. Wenn auch eine solche Annahme wenig natürlich ist, muß die mechanische Möglichkeit doch anerkannt werden; aber diese Möglichkeit ist

nicht die einzige, denn auch horizontale Zusammenschiebung kann die Ursache der Faltenbildung sein. Denken wir uns eine vorhandene Falte wieder ausgeplättet, die Schichten wieder in ihre ursprüngliche horizontale Lage versetzt, so werden sie einen größeren Flächenraum einnehmen als vorher in gefaltetem Zustande. Faltung stellt also einen Zusammenschub des geschichteten Gesteinsmaterials auf einem kleineren Raume dar; wir werden daher erwarten dürfen, daß eine horizontale Zusammenpressung eine solche Wirkung ausübt und die Schichten in Falten legt. Der Beweis ist sehr einfach durch ein Experiment zu erbringen: legt man z. B. eine Anzahl verschieden gefärbter Tuchstoffe in viereckigen Stücken übereinander, beschwert sie von oben mit einem Buch und schiebt sie mit Hilfe zweier Bücher von der Seite zusammen, so sieht man, daß die Tuchstreifen in regelmäßige Falten gelegt werden.

Daß wir bei der Entstehung der Falten in Wirklichkeit nur an die Einwirkung eines seitlichen Druckes denken können, ergibt sich wohl unzweifelhaft aus dem Vorkommen von liegenden und selbst fingerförmig ineinandergreifenden Falten, wie wir sie vom Nordrande des Finsteraarhornmassivs kennen gelernt haben (s. Abbildungen, S. 346 und 348), aus den für gefaltete Gebirge so bezeichnenden Überschiebungen und den Horizontalverschiebungen, den sogenannten Blättern, und endlich aus der weiten Verbreitung der Druckschieferung, deren steile Stellung nur von der Wirksamkeit einer annähernd horizontalen Kraft herrühren kann.

Wir verfolgen diesen Gegenstand hier nicht weiter, da wir bei der Besprechung der Anschauungen über das Wesen der Gebirgsbildung wieder daran anknüpfen müssen.

Ältere Ansichten über Gebirgsbildung.

Daß Hebungen und Senkungen des Bodens vorkommen, ist schon seit langer Zeit von verschiedenen Forschern angenommen worden. Man hat wohl auch die Vulkane und die Kräfte, die deren Ausbrüche hervorbringen, mit der Entstehung der Gebirge in Verbindung gebracht; doch hatten derartige Ansichten keine allgemeine Verbreitung. Selbst in den ersten Zeiten des Beginns einer wissenschaftlichen Geologie in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts war man von einer richtigen Auffassung noch so weit entfernt, daß sogar Werner, der Begründer des geologischen Systems, gar keine Aufrichtung der Gebirge annahm, sondern der Ansicht war, daß alle Gesteine, mit Ausnahme der Gneise, Granite ꝛc. sowie der Laven der jetzt thätigen Vulkane, durch Wasser gebildet seien, und daß sie im allgemeinen so lägen, wie sie sich ursprünglich abgelagert hätten. Die Gebirge waren nach ihm nur durch die Abtragung durch die Atmosphärilien gleichsam aus ihrer Umgebung herausgeschält, steile Aufrichtung der Schichten galt ihm als eine rein lokale, durch Einstürze hervorgebrachte Erscheinung.

Diese Auffassung wurzelte, wie wohl die meisten Irrtümer Werners, in dem Umstande, daß dieser große Mann nie über die nahe Umgebung seines Wohnorts hinausgekommen ist und nicht viel mehr als die Gegend von Freiberg gesehen hat. Bei der Ausdehnung der Beobachtung über größere Gebiete und namentlich auf bedeutende Hochgebirge mußte sich die Unrichtigkeit seiner Meinung bald ergeben. Der Pfadfinder auf diesem schwierigen Gebiet, Saussure, fand in den Alpen überall steil aufgerichtete Ablagerungen; er sah namentlich in der Montblanc-Gruppe aus Rollsteinen bestehende Massen, die durch ihn bekannt gewordenen Konglomerate von Valorsine mit senkrecht stehenden Schichten, und schloß daraus, daß hier eine gewaltsame Aufrichtung, eine den ganzen Gebirgsstock betreffende Zerreißung stattgefunden habe, die auch weiterhin in den Alpen zu verfolgen sein müsse.

Die Ansichten über die Aufrichtung der Gebirge, die sich in den nächsten Jahrzehnten geltend machen, stehen mit der damals herrschenden Richtung der Geologie im innigsten Zusammenhang. Im Gegensatz zu dem „Neptunismus" Werners erblickten die „Plutonisten" in dem Emporbrängen feuerflüssiger Gesteine die Ursache der Gebirgsbildung; es war die Zeit, in welcher die oben (S. 166) besprochene Lehre von den Erhebungskratern im höchsten Ansehen stand, und es lag nahe, ebenso wie die Ringwälle der Vulkane, auch die Gebirgsketten einer Auftreibung durch von unten nach oben dringende Massengesteine zuzuschreiben. In den Alpen sah man in der Mittelzone Granite, Gneise und ähnliche Gesteine und hielt sie für die Gebirgsbildner, während in anderen Gebirgen, wo solche kristallinische Gesteine fehlen, z. B. im Juragebirge, die Massen nicht bis zum Durchbruch an die Oberfläche gelangt, aber in einiger Tiefe doch vorhanden sein sollten. In der Regel wurde dabei angenommen, daß die Aufrichtung der Gebirge plötzlich, mit Einem Ruck, vor sich gegangen sei.

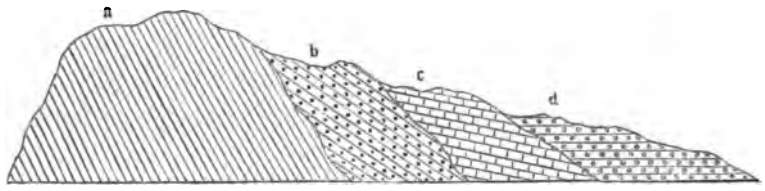
Natürlich waren die Ansichten der Forscher nicht in allen Punkten übereinstimmend. Wir können aber nicht auf alle Meinungsverschiedenheiten unter den Plutonisten näher eingehen; nur eine sehr eigentümliche Theorie sei hier erwähnt, die sich durch die Großartigkeit ihrer Auffassung wie ihrer Irrtümer auszeichnet. Der berühmte französische Forscher Elie de Beaumont suchte für die ganze Erde die Richtung und das Alter der Gebirge festzustellen und in diesen Beziehungen Gesetzmäßigkeiten nachzuweisen. Sein großes Verdienst in dieser Hinsicht besteht darin, daß er zuerst und in vielen Fällen mit Erfolg den Versuch machte, die Zeit zu bestimmen, in der die Aufrichtung der verschiedenen Gebirge erfolgte. Die dabei angewandte Methode ist sehr einfach und klar: man sucht im Gebirge das Alter der jüngsten Schicht zu bestimmen (s. obenstehende Abbildung), die noch an der Aufrichtung teilgenommen hat, während anderseits das Alter der ältesten Ablagerung festgestellt wird, die, ohne von der Aufrichtung des Gebirges betroffen zu sein, ungestört am Fuße desselben ruht. Die Aufrichtung muß dann folgerichtig in der Zeit zwischen der Ablagerung der aufgerichteten und der horizontal liegenden Schicht erfolgt sein.

Schema für die Bestimmung des Alters eines Gebirges. Die gefalteten Schichten sind vor, die horizontalen nach der Aufrichtung des Gebirges abgelagert.

Von so großer Wichtigkeit die Einführung dieser Methode ist, so ist doch in der Art, wie Beaumont sie anwendete, schon ein Irrtum enthalten. Er setzte voraus, daß sich die Gebirge mit Einem Ruck bilden; da dies aber nicht der Fall ist, sondern die Aufrichtung zusammengesetzter Bergketten lange Zeiträume hindurch fortdauert, so erhalten wir auf dem angegebenen Wege offenbar nur das Alter der jüngsten Bewegung der Massen, das Datum ihres Abschlusses, nicht die Zeit der Aufrichtung überhaupt. Ein einfaches Beispiel mag dies erläutern: Auf der Insel Kos an der kleinasiatischen Küste treten Ablagerungen verschiedenen Alters in sehr verschiedenen Lagerungsverhältnissen auf (s. Abbildung, S. 354). Ein ziemlich hohes Gebirge besteht aus kristallinischen Schiefern mit Marmorlagen und aus Kalken der Kreideformation, die sämtlich sehr stark aufgerichtet und gestört sind. An diese Massen, die gleichsam das feste Rückgrat der Insel bilden, lagern sich jüngere, dem Tertiär angehörige Bildungen an, die weniger aus ihrer ursprünglichen Lage gerückt sind. Das älteste Glied dieser Reihe bilden Süßwasserkalke miocänen Alters, die an den Gehängen bis zu einer Höhe von mindestens 300 m hinanreichen und unter einem Winkel von 45° geneigt sind; dann folgen altpliocäne Süßwasserschichten und jungpliocäne Meeresbildungen, die weniger hoch an den Bergseiten hinaufreichen und nur etwa unter 15—20° geneigt sind, während Meeresablagerungen des jüngsten Pliocäns und der Diluvialzeit horizontal und ungestört am Rande des Gebirges liegen. Wir sehen in diesem Falle von den ältesten zu

den jüngsten Bildungen eine Stufenfolge immer schwächer werdender Aufrichtung, die offenbar einer Reihe aufeinander folgender Stadien der Aufstauung des Gebirges entspricht. Eine erste Bewegung erfolgte nach der Ablagerung der Kreidekalke und vor derjenigen der miocänen Süßwasserkalke; auch diese mußten vor der Bildung der pliocänen Schichten schon aufgerichtet sein, und die letzten Emporschiebungen dauern bis ins obere Pliocän. Während also eine genaue Prüfung der Thatsachen hier eine länger dauernde Periode der Bewegung ergibt, würde die Beaumontsche Methode den ganzen Vorgang in die Zeit zwischen die Ablagerung des jüngeren und des jüngsten Pliocäns versetzen.

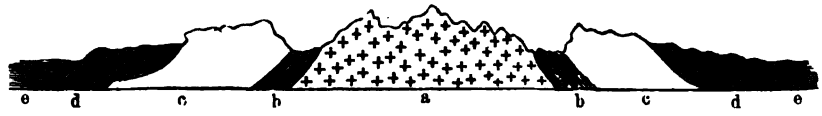
Allerdings war Beaumont später genötigt, in manchen Fällen, z. B. bei den Pyrenäen, mehrere aufeinander folgende Bewegungen anzunehmen; dann aber mußte er nach seiner Theorie, wie wir sehen werden, für jede eine andere Richtung voraussetzen, und die große Hauptbewegung, die den ganzen Charakter des Gebirges bedingt, mußte trotzdem eine einheitliche bleiben. Für ihn bildet diese Hauptbewegung einen einmaligen, rasch und mit furchtbarer Gewalt erfolgenden Akt, eine gewaltige Katastrophe. Da er nun durch seine Studien gefunden hatte, daß wiederholt in der Geschichte der Erde zu sehr verschiedenen Zeiten Gebirge entstanden seien, so lag es nahe, in diesen Vorgängen die Revolutionen zu sehen, die nach Cuviers Theorie am Schlusse jeder geologischen Formation eintreten und alles Lebendige vertilgen sollten. Er stellte sich die Sache so vor, daß sich die in ihrem Inneren in heißem Schmelzfluß befindliche Erde im kalten Weltraum bewege und wie jeder sich abkühlende Körper eine Zusammenziehung erleide. Dabei kontrahiere sich namentlich der innere flüssige Kern, während die Rinde, die verhältnismäßig äußerst dünn gedacht wird, sich infolge ihrer Starrheit dem Kerne nicht anzuschließen vermöge; die Schale werde zu weit für die glühenden Massen im Inneren, es bilde sich ein leerer Raum zwischen beiden, endlich breche die Kruste zusammen und lege sich nun wieder dicht auf die feuerflüssige Kugel im Inneren. Nun trete eine Ruhepause ein, bis infolge weiterer Abkühlung eine neue Berstung stattfinde. Bei dem Zusammenbruch der festen Kruste werden dann die Gesteine an den Bruchrändern einer gewaltigen Seitenpressung unterworfen, zu Gebirgen aufgerichtet, von Spalten durchzogen, während die damit verbundenen Erschütterungen alle Organismen vertilgen. Beaumont nahm an, daß alle Gebirgszüge, Spalten, Verwerfungen, Gänge, die parallel oder senkrecht zu einander verlaufen, gleichzeitig seien und einem und demselben großen Zusammenbruch ihre Entstehung verdanken. Indem er diese verschiedenen Richtungen miteinander verglich, glaubte er erkennen zu können, daß sie alle zusammen eine streng geometrische Figur darstellen und zwar zunächst die Form des aus der Kristallographie bekannten Pentagonaldodekaeders; dazu kamen dann die Kantenrichtungen einiger verwandter Kristallformen und außerdem noch bestimmte Hilfsrichtungen, so daß über 100 Systeme entstanden, deren jedes auf einem ein paar Hundert Meilen breiten, rings um die Erde verlaufenden Gürtel verfolgbar sein sollte. Es wurde von Beaumont und von einer großen Anzahl seiner Schüler und Arbeitsgenossen mit einem unsäglichen Aufwand von Zeit, Mühe und Arbeitskraft der Nachweis versucht, daß sich alle Gebirgsrichtungen, Spalten ꝛc. in einer ihrem Alter entsprechenden Weise auf Linien des „Pentagonalnetzes" zurückführen lassen, was auch in der Regel in der einen oder anderen Weise



Schematisches Profil durch die Insel Kos. a) Älteres Gebirge, b) miocäner Süßwasserkalk, c) altpliocäne Süßwasserschichten, d) jungpliocäne Meeresbildungen. Vgl. Text, S. 353.

gelang, da man über 100 verschiedene Richtungen zur Verfügung hatte, und da in jedem einzelnen Falle Abweichungen von 4—5° als unwesentlich außer acht gelassen wurden.

In Frankreich fand Beaumonts Theorie, namentlich infolge seines persönlichen Einflusses als Lehrer und Direktor der Pariser Bergakademie, große Verbreitung; außerhalb Frankreichs erwarb sie aber nur wenige Anhänger, die sich ihr in allen Punkten angeschlossen hätten, und allmählich hat man sich auch in Frankreich von ihr abgewendet. Die Existenz einer so dünnen Erdkruste, die im Verhältnis kaum so dick wäre wie die Schale eines Eies, hat sich als unhaltbare Annahme erwiesen, die Zurückführung der Entstehung der Gebirge auf einen einzigen rasch erfolgenden Akt hat sich als unmöglich gezeigt, die Hypothese, daß parallel oder senkrecht zu einander verlaufende Störungen gleichzeitig, unter spitzem Winkel sich schneidende ungleichzeitig seien, ist durchaus willkürlich. Bei der großen Menge der zur Verfügung stehenden Systeme, bei dem Umstand, daß Fehler bis zu 5° nicht beachtet wurden, bei der Unsicherheit in der genauen Altersbestimmung vieler Hebungen ist es ziemlich klar, daß sich fast jede Gebirgsrichtung irgendwie in geeigneter Weise unterbringen ließ; immerhin aber sind einige Beispiele bekannt, die sich trotz alledem nicht fügen wollen (Pyrenäen, Longmynd). Die Verfolgung der Hauptgebirgsrichtungen in den verschiedensten Weltteilen und die Bestimmung des Alters der Aufrichtung



Schematischer Durchschnitt der Alpen vom Standpunkt der Hebungstheorie aus. a) Kristallinische Mittelzone, b b) Grauwackenzonen, c c) Kalkzonen, d d) Sandsteinzonen, e e) Ebene.

bilden ein bleibendes Verdienst Beaumonts auch in dieser Hinsicht; was aber darüber hinausgeht, bedeutet nichts als geistreiche Phantasien, deren scharfsinnige Durchführung man bewundern kann, ohne ihnen Berechtigung zuzugestehen.

Die Ansicht von einer raschen Aufrichtung der Gebirge hat so ziemlich allen Boden verloren; die durch Hoff, Lyell und Prevost eingeleitete Richtung der neueren Geologie sieht auch in diesen gewaltigen Erscheinungen nur die Summierung einer großen Menge von kleinen Einzelwirkungen. Ein plötzlich von unten nach oben wirkender Stoß könnte bei genügender Stärke die darüberliegenden Schichten zersprengen, zertrümmern, in Splitter zermalmen, aber er würde nie ausgedehnte, regelmäßige Faltensysteme erzeugen, wie wir sie in unseren Kettengebirgen vor uns sehen; diese können sich nur infolge eines lange anhaltenden Druckes allmählich gebildet haben. Die Quelle dieses Vorganges hat man, wie schon oben erwähnt, lange Zeit in den kristallinischen Gesteinen gesucht, die die auflagernden Schichten emporgetrieben, zur Seite gedrängt und dadurch gefaltet haben sollten. In den Alpen z. B. finden wir, wenn wir in der östlichen Hälfte einen Durchschnitt von Norden nach Süden legen, zuerst einen Gürtel niederer Sandsteinberge; dann folgen in ansteigender Höhe die Kalkberge, darauf treten in der Regel die aus paläozoischen Gesteinen bestehenden gerundeten Höhen der „Grauwackenzone" auf, südlich von ihnen die aus kristallinischen Massen zusammengesetzten Zentralalpen und noch weiter im Süden wieder eine Grauwacken- und Kalkzone. Aber diese Darstellung, wie sie etwa durch das obenstehende Idealprofil repräsentiert wird, ist eine rein schematische, in Wirklichkeit sind die Verhältnisse im Bau und der Anordnung der alpinen Ketten viel verwickelter. Doch lassen sich die gröbsten Hauptzüge des Aufbaues mit der Annahme vereinigen, daß die Gesteine der Mittelzone heraufgedrungen sind, die Decke der geschichteten Gesteine gesprengt und zu beiden Seiten, nach Norden und Süden, in Falten zurückgestaut haben.

Was die Wahrscheinlichkeit dieser Annahme betrifft, so läßt sich nicht verkennen, daß sich die Erklärung der Gebirgsbildung als Hebung durch senkrecht emporwirkende Massen in ihren Ursprüngen wesentlich auf die Erscheinungen des sogenannten Erhebungskraters stützt, also nach unseren früheren Darlegungen hinfällig wäre. Wir haben aber namentlich in den Lakkolithen Erscheinungen kennen gelernt, die keine andere Deutung zulassen, als daß emporbringende Trachytmassen eine mächtige domförmige Aufwölbung der über ihnen ausgebreiteten Schichten hervorgebracht haben. Zwar sind die Erscheinungen und die resultierenden Lagerungsverhältnisse derartige, daß sie allem anderen eher ähnlich sind als dem Bau unserer Kettengebirge; aber wir werden immerhin diesen Thatsachen gegenüber nicht mehr unbedingt an dem Satze festhalten dürfen, daß Massengesteine überhaupt nicht im stande seien, eine Aufrichtung von Schichten zu vermitteln. Wenn wir aber die Verhältnisse der Kettengebirge, besonders der Alpen, etwas näher ins Auge fassen, so ergibt sich bald die völlige Haltlosigkeit dieser Lehre. Abgesehen davon, daß die kristallinischen Gesteine der Zentralkette nur zum geringeren Teil wirklich intrusiver Natur sind, größtenteils aber zu den Schiefergesteinen gehören, haben die Forschungen der letzteren Zeit mit Sicherheit ergeben, daß die kristallinische Zentralzone samt den darin aufgebrochenen Eruptivgesteinen bereits bestanden hat, schon aufgerichtet und gefaltet war, bevor noch jene mächtigen Kalk-, Schiefer- und Sandsteinablagerungen der mesozoischen und alttertiären Zeit überhaupt zur Ablagerung gelangten. Während der älteren mesozoischen Periode wurden wohl wiederum einzelne kristallinische Massen, wie der im vorhergehenden besprochene Eruptivstock von Predazzo, gefördert, allein auch ihr Ausbruch fällt in eine frühere Zeit als die Faltung der mesozoischen Ablagerungen. In der Miocänzeit, in der ebenfalls Faltungen im Alpen- und Karpathengebirge vor sich gegangen sind, erfolgten wohl gleichzeitig damit und nachträglich großartige Eruptionen, aber diese ereigneten sich auf der Südseite des Gebirges, über niederbrechenden Schollen, und wir kennen keine Spuren eines seitlichen Zusammenschubes, der mit diesen Ausbrüchen im Zusammenhang stünde.

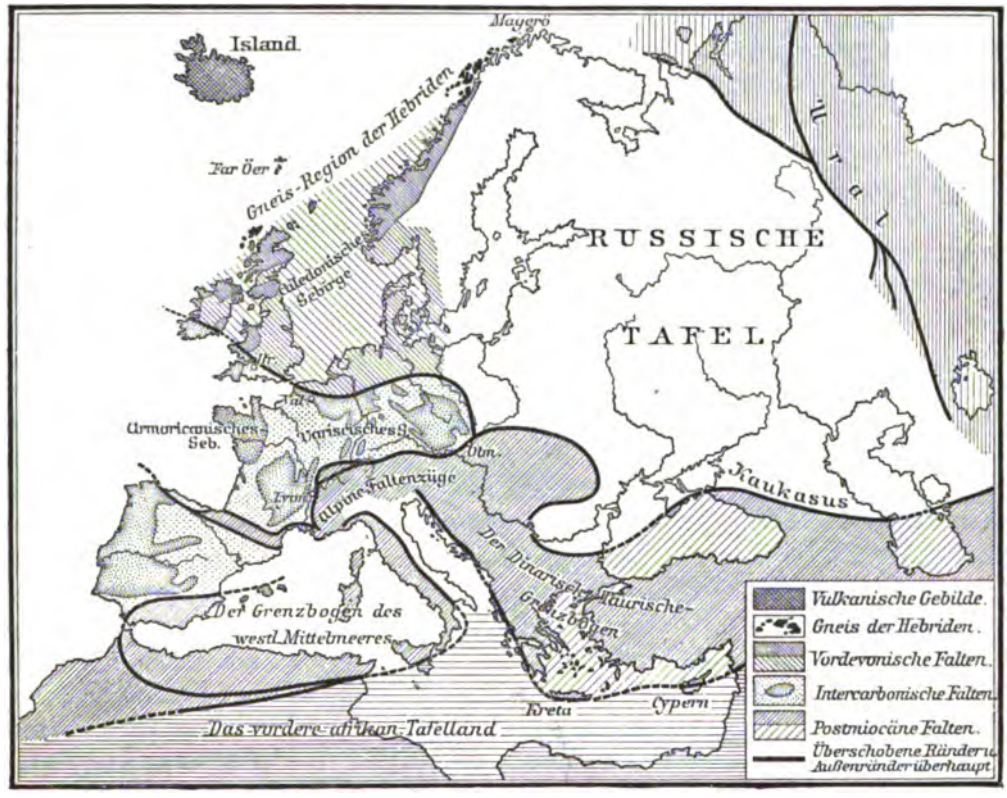
Die Vorstellung von der hebenden und faltenden Wirkung der Zentralkerne war nur möglich, so lange man den Gebirgsbau nur in seinen Hauptzügen erfaßt hatte; je mehr unsere Erkenntnis in das Detail des Aufbaues und der zeitlichen Entwickelung der Faltengebirge eindrang, desto unhaltbarer erwies sich diese Lehre, die nun endgültig überwunden und dem geschichtlichen Teil der Wissenschaft überwiesen ist.

Das Gleiche gilt wohl auch von einer anderen älteren Anschauung, die die Ursache der Gebirgsfaltung in der Volumenvermehrung der Gesteine durch chemische und physikalische Umwandlungen sucht. Man kennt in der That einige derartige Vorgänge; so wird nicht selten Anhydrit durch Wasseraufnahme zu Gips, dehnt sich dabei aus und muß infolge des allseitig entgegenstehenden Druckes eine faltige Runzelung seiner Schichten erfahren. Besondere Bedeutung wurde namentlich den Vorgängen bei der Erhärtung der Gesteine zugeschrieben; allein viele Gesteine, wie die meisten Kalke, wurden überhaupt als feste Massen abgelagert, bei anderen ist nichts zu erkennen, was auf eine Volumenvermehrung hinweisen würde, und wieder andere endlich, wie sämtliche Thonbildungen, unterlagen bei der Verfestigung einer Volumenverminderung. Faltungen durch diese Kräfte könnten also stets nur lokal auftreten; die äußere Erscheinung solcher Runzelungen ist weit verschieden von den großartigen Faltungen der Kettengebirge.

Wenn wir dem Wesen der Gebirgsbildung um einen Schritt näher kommen wollen, müssen wir vor allem einzelne Gebirgstypen etwas näher kennen zu lernen suchen. Wir werden mit dem Gebirge beginnen, das in den meisten Fällen den Ausgangspunkt für die Theorien der Gebirgsbildung abgegeben hat, mit den Alpen.

Der Bau des Alpensystems.

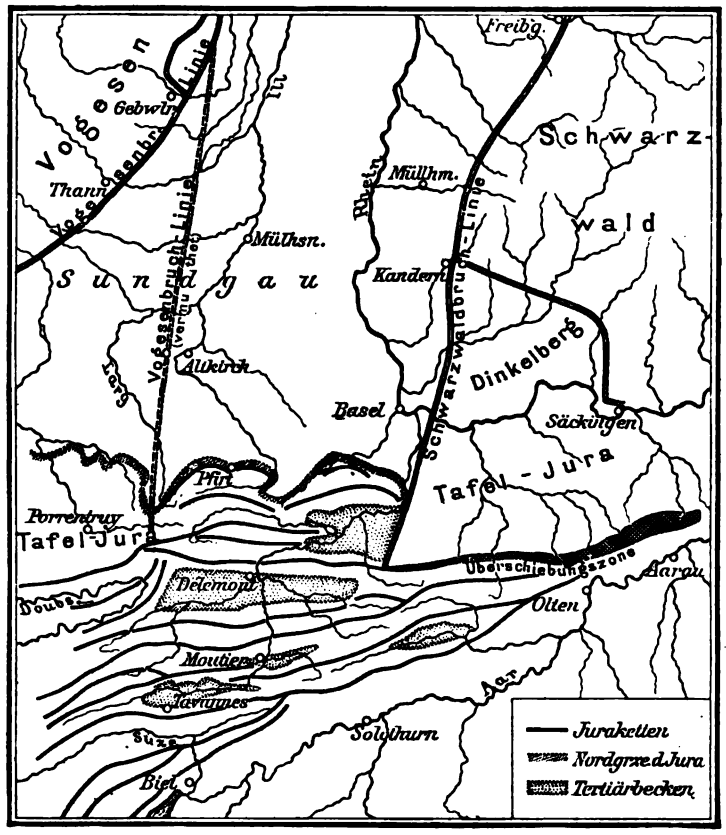
Wenn wir den Außenrand der Alpen ins Auge fassen, so sehen wir, daß er in einer sehr regelmäßig geschwungenen Linie verläuft, die sich vom Golf von Genua bis Wien erstreckt und sich von da in dem mächtigen Bogen der Karpathen fortsetzt. In einzelnen Gegenden, besonders in Niederösterreich und in Mähren, sind Teile des Gebirgsrandes zur Tiefe gebrochen, aber auch da läßt sich die leicht geschwungene Kurve des Nordrandes sicher verfolgen. Die bemerkenswerte



Tektonische Skizze der Gebirge Europas. (Nach E. Sueß.)

Einheit dieser Begrenzungslinie steht in grellem Gegensatz einerseits zu der vielfach gebrochenen und unregelmäßigen Linie des Innenrandes, anderseits zu der Mannigfaltigkeit in der geologischen Gestaltung der alten Gebirgsmassen im Vorlande des Alpensystems. Wir werden diese letzteren weiter unten etwas näher besprechen, müssen ihnen aber auch hier schon einige Aufmerksamkeit schenken, denn augenscheinlich steht der Verlauf des Alpensystems und seiner äußersten, am weitesten nach Norden vorgeschobenen Falten in einer gewissen Abhängigkeit von dem nördlichen Vorlande. In diesem erhebt sich eine Anzahl alter Massengebirge, die als uralte, feste Pfeiler des Erdgerüstes in niedergebrochener Umgebung stehen geblieben sind, und an denen sich die jüngeren Falten des Kettengebirges stauen. So erscheinen das Zentralplateau von Frankreich, die Granitinsel von Dôle, die Vogesen, der Schwarzwald, die gewaltige böhmische Masse als die Marksteine, bis zu denen die Faltung reicht (s. obige Kartenskizze). Hart pressen sich die alpinen Falten an den Südrand der böhmischen Masse, wo diese etwa in der Mitte zwischen

Linz und Wien, auf der Linie Grein-Mölk die Donau übersetzend, nach Süden vorspringt. In auffallender Weise macht sich der hemmende Einfluß bemerkbar, und zwar nicht nur im Verlauf der für den Bau der Kalkalpen maßgebenden Störungslinien; er greift selbst auf die zentrale Gneiszone der Ostalpen über, deren Streichungsrichtung von Rottenmann über Leoben gegen Bruck und Pitten eine ausgesprochene Bogenwendung von fast 90° vollzieht. Etwas westlich von Wien, in der Gegend von St. Pölten, tritt die böhmische Masse zurück; eine von Südsüdwesten nach Nordnordosten verlaufende Linie, die durch die Städte St. Pölten in Niederösterreich und Znaim in Mähren fixiert werden mag, bezeichnet ihre Grenze. Diese Änderung spiegelt sich in der Richtung der Nordalpen auf das deutlichste wieder; die zentrale Gneiszone sowie die Kalkalpen und die Sandsteinzone schwenken aus der ostwestlichen Richtung gegen Nordosten und gehen so in die Karpathen über. Diese wiederum sehen wir einen mächtigen und regelmäßigen Bogen beschreiben, der von Süden her an das sudetische Gebirge herantritt.



Tektonische Skizze der Juraketten südlich vom Rheinthal-Graben.
(Nach G. Steinmann.)

Nicht minder augenfällig ist die Stauung der alpinen Ketten, und zwar zunächst des Juragebirges, das ja gewissermaßen als ein abgeirrter Zweig der Alpen zu betrachten ist, am Schwarzwald und an den Vogesen. Unmittelbar am Fuße der alten Gebirgskerne breiten sich flach gelagerte oder schwach gegen Süden geneigte Juraschollen aus, der sogenannte Tafeljura; dieser war, offenbar unter dem schützenden Einfluß der darunterliegenden starren kristallinischen Masse, der Faltung entrückt, so daß erst weiter südlich die Möglichkeit für die Entstehung von Faltungen gegeben war. Gerade an der Grenze zwischen dem Tafel- und dem Kettenjura sind diese ersten Faltungen so intensiv ausgebildet, daß die geologisch älteren Ablagerungen der Triasformation von Süden her über Jura und Tertiär überfaltet sind. Äußert sich schon darin der stauende Einfluß des Schwarzwaldes, so wird diese Rolle der alten Massen noch deutlicher, wenn wir die Gegend des Juragebirges ins Auge fassen, die unmittelbar südlich von der großen Grabensenkung des Rheinthales gelegen ist (s. obige Kartenskizze). In diesem Gebiet schoben sich nach G. Steinmann die gefalteten Ketten wie durch ein geöffnetes Thor viel weiter nach Norden vor, offenbar, weil sie hier einem geringeren Widerstande begegneten.

Betrachten wir nun die äußersten Faltenzüge des Nordrandes der Alpen etwas näher, so finden wir sie von Chambéry und Genf bis nach Niederösterreich und von da über Mähren, Schlesien, Galizien und die Bukowina bis nach Rumänien einheitlich zusammengesetzt aus geologisch jungen, miocänen Thonen, Sandsteinen und Konglomeraten. Ihren geologischen Bau hat man zuerst in der Schweiz richtig erkannt; man überzeugte sich, daß die unter der Bezeichnung „Molasse" zusammengefaßten Tertiärbildungen dem ganzen Nordrande der Schweizer Alpen entlang zwei mächtige Falten bilden, die nördliche und die südliche Antiklinale der Molasse. Die erstere bildet eine normale Falte, die letztere dagegen ist überstürzt, und es fallen die geologisch jüngeren Schichten der Molasse unter die geologisch älteren Bildungen des Alpenrandes ein. Gewaltige Berge, wie der Rigi (1800 m), der Speer (1956 m), gehören der südlichen Antiklinale an, deren Lagerung die Überschiebung durch die von Süden gegen Norden vordringenden älteren Ketten deutlich erkennen läßt. Dieselben Verhältnisse herrschen in der kohleführenden Molasse am Nordsaum der bayrischen Alpen, und auch weit im Osten, am Nordrande der Karpathen, kehrt die Erscheinung der Antiklinale der Molasse in den Salzgruben von Wieliczka und Bochnia, in der mächtigen miocänen Salzformation Ostgaliziens, in der Bukowina und in der Moldau wieder.

Wenn wir nun nach Überschreitung dieser ersten Zone tiefer in das Gebirge eindringen, so betreten wir zunächst die schon öfter erwähnte Sandstein- oder Flyschzone, wie sie nach einem alten Schweizer Lokalausdruck genannt wird. In den Alpen nur ein schmales Band, erweitert sich diese Zone in den Karpathen zu einem mehrere Meilen breiten Gebirgszuge und besteht in beiden Gebieten aus mächtigen, aber einförmigen Schiefern und Sandsteinen des Eocäns und der Oberkreide. Auch dieser Gürtel läßt sich ununterbrochen aus der Schweiz bis in die Karpathen verfolgen.

Weitaus verwickelter gestalten sich dagegen die Verhältnisse in den tieferen Teilen des Alpensystems, in der sogenannten Kalkzone und in den kristallinischen Zentralzonen. Die Faltungen sind hier am intensivsten ausgebildet, wie ein Blick auf die Abbildungen S. 346 und 348 lehrt, aber sie ziehen nicht, wie man früher angenommen hat, ununterbrochen von Westen nach Osten, sondern lassen sich nur eine Strecke weit verfolgen, um dann von anderen Falten abgelöst zu werden. So setzt sich von den kristallinischen Zentralmassen der Westalpen keine unmittelbar in die Ostalpen fort. Die einzelnen Faltenzüge sind voneinander ziemlich unabhängig, und ihr Streichen fällt nicht immer mit dem Gesamtstreichen des Gebirges zusammen. Wir erkennen somit in der Gestaltung der inneren und der äußeren Ketten einen bedeutenden Unterschied, der mit der wiederholten Gebirgsfaltung zusammenhängt. Bevor wir aber auf diese näher eingehen, wollen wir unsere Aufmerksamkeit noch dem Innenrande des Alpensystems zuwenden.

Steil und völlig unvermittelt senken sich die alten kristallinischen Felsarten der Zentralzone des Monte Rosa in den Westalpen zur piemontesischen Ebene hinab. Die Südgrenze der Alpen ist hier scharf gezeichnet, aber sie entspricht nicht, wie der Nordrand, einer Faltenwölbung, sondern einem gewaltigen Bruch, der das Streichen des Gebirges unter einem spitzen Winkel schneidet. So gewinnen die Westalpen wie die meisten Kettengebirge einen einseitigen Bau. Die piemontesisch-lombardische Ebene stellt sich, wie schon B. Studer erkannt hat, als ein weites Senkungsfeld dar, in dem sich nur die vereinzelte Hügelgruppe der Superga bei Turin mit ihren südwärts geneigten Schichten als ein Bruchstück der gesunkenen Masse erhalten hat.

Betrachten wir zum Vergleich einen anderen Teil des Alpensystems, etwa die Karpathen, so finden wir den Innenrand des Gebirges ebenfalls als Bruchrand gekennzeichnet, und die Erscheinungen sind hier noch auffallender und mannigfaltiger. Bald greift der Abbruch so tief in das Gebirge ein, daß fast nur die Sandsteinzone sichtbar ist, wie östlich von der Linie Tokay-Eperjes, bald bleiben die inneren Zonen in großer Breite erhalten, wie dies westlich von der genannten Linie der Fall ist; oder es folgt der Abbruch, ähnlich wie in den Westalpen, ungefähr

dem Streichen des Gebirges, wofür die Ostkarpathen im Quellgebiet der Theiß ein Beispiel bieten; bisweilen haben wir es auch mit einem Querbruch zu thun, wie an der schon genannten Linie Eperjes-Tokay, oder endlich kann das Gebirge an einer mannigfaltig gezackten Linie, die sich aus Längs-, Quer- und Diagonalbrüchen zusammensetzt, abgesunken sein, wie in den Westkarpathen. Gewaltige vulkanische Massenergüsse begleiten die Bruchränder der Senkungsfelder, welche in ihrer Vereinigung die große ungarische Tiefebene bilden. Der weitere Verfolg der Karpathenbrüche führt uns um die Südspitze der Kleinen Karpathen und der Hundsheimer Berge herum in das Becken von Wien und an die östliche Begrenzung des Hauptstammes der Alpen.

Eine Reihe von großen *Brüchen* schneidet die Alpen im Osten ab; ihre Fortsetzung ist bis auf einzelne, den Verlauf der Faltungen andeutende Bergzüge zur Tiefe niedergebrochen. Im Becken von Wien aber umfaßt der Einbruch nicht nur die inneren Zonen, sondern er erstreckt sich auch auf die Sandsteinzone, so daß hier das Gefüge der Alpen seiner ganzen Breite nach zerschnitten ist. Die Senkung des Wiener Beckens dehnt sich im Streichen des Gebirges etwas weiter aus als in der Querrichtung. Südlich von der Donau bildet die Thermenlinie von Baden und Vöslau bis gegen Gloggnitz am Fuß des Semmering den Abschluß; nach Südosten ist das Wiener Becken durch die im Rosaliengebirge bei Wiener-Neustadt endigende Fortsetzung der kristallinischen Zentralzone abgegrenzt. Weiter südlich zeigt der Ostrand der Alpen zwei große, bogenförmige Ausschnitte, die Kesselbrüchen entsprechen. Der Umriß des ersten von ihnen ist im Norden durch das Leithagebirge, im Westen durch die Berge von Landsee, im Süden durch das Bergland von Güns bezeichnet; der zweite bildet die weite Bucht, die von Güns bis Graz vorspringt und sich im Süden bis zum Bachergebirge bei Marburg an der Drau erstreckt. Teils am Abbruch selbst, teils in der Mitte der Senkungsfelder treten, wie am Südrande der Karpathen, basaltische und trachytische Eruptivmassen hervor. An die Bruchränder des Gebirges legen sich vom Bacher bis in das Wiener Becken und von da bis in die Karpathen die fossilreichen Ablagerungen einer und derselben Stufe des jüngeren Tertiärs in flacher Lagerung an und beweisen dadurch den zeitlichen Zusammenhang dieser großartigen Bruchercheinungen.

Dasselbe Phänomen der kesselförmigen *Einbrüche auf der Innenseite* der gefalteten Gebirge, das wir in den Westalpen, am Ostrande des Hauptstammes der Alpen und in den Karpathen verfolgt haben, zeigt sich auch am Innenrande der Ostalpen und in noch auffallenderer Weise in den *Apenninen*. Deutlich läßt der Golf von Genua die Bogenform des Kesselbruches erkennen, ebenso die Bucht von Neapel, die Golfe von Policastro, Sant' Eufemia und Gioca; in Toscana sind die Senkungen mehr dem Streichen nach gestreckt und reichen bis in die Flyschzone der Apenninen. Vom gesunkenen Gebirge blieben einzelne Horste stehen, oftmals als Vorgebirge ins Meer hinausragend. So sehen wir die Westküste Italiens mit einer langen Reihe von Einsenkungen besetzt, und an den Bruchrändern sowie in der Mitte der Senkungskessel treten vielfach vulkanische Massen an die Oberfläche. Die adriatische Senkung, deren Vergrößerung in wenig weit zurückliegender Zeit wir noch näher zu besprechen haben werden, stellt sich als der innere Abbruch der dinarischen Ketten dar.

Wenn wir in verschiedenen Teilen des Alpensystems eine Neigung der äußeren Ketten zur Überschiebung des Vorlandes wahrnehmen konnten, so müssen wir ferner feststellen, daß die „*Leitlinien*" des Alpensystems, die den Verlauf der Faltungszone andeuten, Wendungen, ja völlige Umbeugungen erfahren (s. die Kartenskizze, S. 357). Ein Faltenzug beginnt bei Genua, streicht als Apenninengebirge in südöstlicher Richtung durch die italische Halbinsel und erfährt an deren Ende eine Umbeugung nach Westen, von der uns nur Bruchstücke in Kalabrien und auf Sizilien erhalten sind. Die weitere Fortsetzung bildet das Atlasgebirge in Nordwestafrika, und dieses zieht, nach Norden gebeugt, bei Gibraltar quer über die Meerenge, um sodann unter abermaliger

Wendung nach Ostnordosten die bätische Kordillere und die Sierra Nevada in Südspanien zu bilden. Die Balearen hat man wahrscheinlich als weitere, durch den Einbruch des Mittelmeeres getrennte Fortsetzung dieses großen Faltenzuges zu betrachten, den man mit E. Sueß als „Bogen des westlichen Mittelmeeres" bezeichnet. Bei Genua, wo sich an die Alpen die gefaltete Kette des provençalischen Gebirges „schart", nehmen auch diese ersteren ihren Anfang. Wir sehen sie zuerst einen nach Westen konvexen Bogen bilden, dann allmählich die ostwestliche Streichung annehmen und endlich um den Südrand der böhmischen Masse herum in den Bogen der Karpathen übergehen. Dieser biegt im südöstlichen Siebenbürgen aus der südöstlichen in die ostwestliche Richtung um und erfährt im Banat und in der berühmten Donauenge des Eisernen Thores eine vollständige Drehung: er streicht quer über das Donaubett nach Serbien, um dann unter abermaliger Wendung als Balkangebirge ostwärts zu ziehen und sich nach einer Unterbrechung durch die Einsenkung des Schwarzen Meeres in der Krim und im Kaukasus fortzusetzen.

Noch eine merkwürdige Erscheinung in der Verteilung der alpinen Faltenzüge bleibt uns zu besprechen: das rutenförmige Auseinandertreten, die sogenannte Virgation einzelner Äste, wie wir sie am Ausgang der Ostalpen erkennen. Der Abbruch der Ostalpen ist, wie wir im vorhergehenden erwähnt haben, kein vollständiger; es läßt sich nicht nur aus einzelnen, vom Einbruch verschonten Gebirgsstücken, wie den Juraklippen von Ernstbrunn, Staats, Nikolsburg, dem Leithagebirge, den Hainburger Bergen und dem Sporn des Rosaliengebirges, die Verbindung der Nord- und Zentralalpen mit den Karpathen herstellen, sondern auch die südlichen Kalkalpen treten in einem selbständigen Zweige, dem ungarischen Mittelgebirge, in das Tiefland ein. Die Beziehungen dieses Gebirgszuges mit den südlichen Kalkalpen sind innig. Es streicht längs des ganzen Nordwestrandes des Plattensees gegen Nordosten und setzt sich, allerdings von den Bildungen der Ebene und basaltischen Eruptionen vielfach unterbrochen und stellenweise bedeckt, bis an die Donau bei Ofen und Gran fort. Der Bakonyer Wald, das Vertesgebirge, das Graner und Ofener Gebirge bilden Bruchstücke dieses Faltenzuges von einseitigem, nach Norden gerichtetem Bau. In großer Deutlichkeit, wenn auch nicht sehr weit, läßt sich ein zweiter Zweig verfolgen, der sich an die Berge im Süden von Cilli anschließt und als ein langgestreckter Zug von Triasgesteinen, das Ivancica-Gebirge bildend, in westöstlicher Richtung bis in die Gegend von Warasdin in Kroatien hinstreicht.

Ein dritter Zweig endlich, den E. Sueß den dinarisch-taurischen Grenzbogen genannt hat, schlägt, bedeutend größer als die beiden vorhergehenden und auch die Karpathen an Erstreckung übertreffend, die Richtung nach Südosten ein: bei Laibach in Krain schwenken die südlichsten Zonen der Alpen um, und ihre ununterbrochene Fortsetzung bilden die Falten des österreichischen Küstenlandes, die Dinarischen Alpen und das ganze Faltensystem des westbosnisch-dalmatischen Gebietes; weiter nach Süden hin ziehen sie ununterbrochen durch ganz Albanien, bilden den Pindus auf der Grenze zwischen Thessalien und Epirus, die Ätolischen Alpen in Griechenland und setzen sich in den Bergen des Peloponnes fort, bis ihr äußerstes Ende an der Südspitze Griechenlands, am Kap Matapan, unter die blauen Fluten des Mittelländischen Meeres versinkt. Mit nach Osten abgelenkter Streichungsrichtung kommt diese Zone auf Kreta, Cypern und im Taurus wieder zum Vorschein. Die ruten- oder fächerförmige Anordnung, wie wir sie im Alpensystem erkennen, bringt es mit sich, daß eine Gegend, die das gesunkene Rückland des einen Astes ist, zugleich das Vorland für den nächstfolgenden bildet.

Wir haben im vorhergehenden eine Reihe der wesentlichsten Eigentümlichkeiten des Alpensystems in knappen Zügen kennen gelernt, vor allem den Kontrast zwischen der Mannigfaltigkeit des Vorlandes und dem einheitlichen, stetigen Charakter des Außenrandes, der an vielen Stellen

die Neigung zur Überkippung oder Überschiebung in der Richtung gegen das Vorland verrät. Auf der Innenseite der gefalteten Ketten haben wir Einbrüche und Senkungsfelder gesehen, begleitet von vulkanischen Ergüssen oder auch ohne solche; wir haben erkannt, daß die alpinen Ketten durch den Gegensatz der einheitlichen und gefalteten Außenseite zur abgebrochenen Innenseite in hohem Grade das Gepräge der Einseitigkeit erhalten; wir haben ferner Umbeugungen des Streichens und die Virgation gescharter Ketten beobachtet. Wir wollen nun auf die erdgeschichtliche Entwickelung dieses Gebirgssystems etwas näher eingehen.

Man nennt das Alpensystem mit Recht ein geologisch jugendliches Gebirge, denn aus den Faltungen an seinem Außenrande kann man mit Sicherheit entnehmen, daß alpine Faltungen noch zur Miocänzeit vor sich gegangen sind. Dagegen war es jedenfalls eine unrichtige Verallgemeinerung, wenn in früherer Zeit schlechtweg gesagt wurde, die Alpen seien in der Tertiärzeit entstanden; ja, es wird sich selbst der Satz, das Miocän bilde die Hauptfaltungszeit der Alpen, nicht für alle ihre Teile aufrecht erhalten lassen.

Man ist in den Ostalpen schon vor vielen Jahren darauf aufmerksam geworden, daß die Schichten der Oberkreide[1] auf den verschiedenartigsten älteren Gesteinen aufruhen und dabei eine vom Streichen der älteren Schichten gänzlich abweichende und unabhängige Verbreitung besitzen. Später sind ähnliche Verhältnisse in allen Teilen der Alpen und Karpathen nachgewiesen und verschiedene Beobachtungen gemacht worden, die nur erklärbar sind, wenn man annimmt, daß die Alpen schon vor dem Eindringen des Oberkreidemeeres Faltungen gebildet und Relief besessen haben. Da aber die Bildungen der Oberkreide selbst wieder gefaltet sind, so muß nach ihrer Ablagerung abermals eine Periode des Zusammenschubes eingetreten sein. Dies war die letzte Faltung, die auf die inneren Zonen des Alpensystems eingewirkt hat. Wir können dies mit Bestimmtheit folgenden Verhältnissen entnehmen.

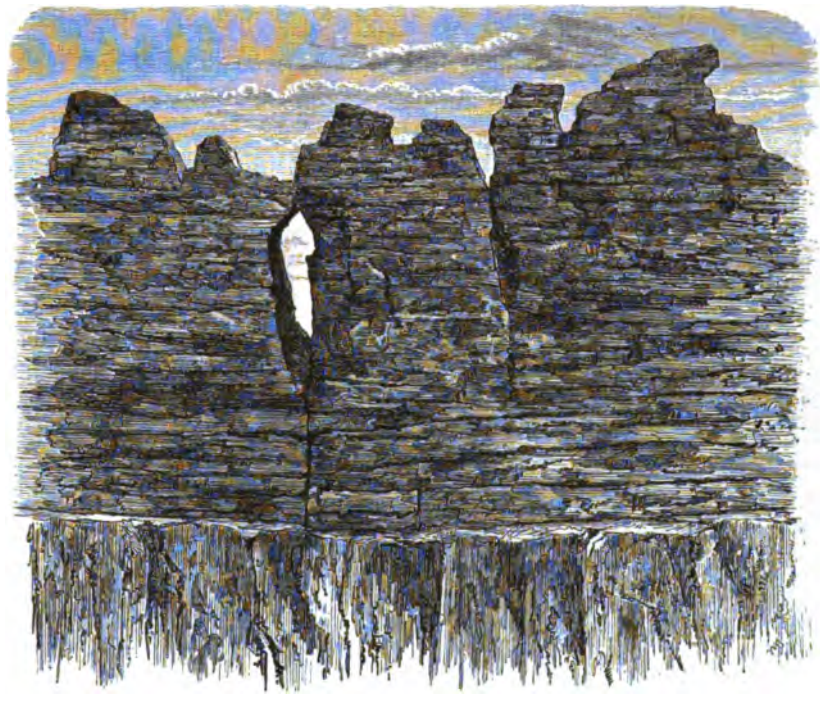
Von der Periode der Oberkreide an sehen wir das Meer im Bereich des Alpensystems an Ausbreitung gewinnen: es dringt während des Eocäns und Oligocäns in Gegenden, die vorher offenbar Festland waren; außerdem aber bildete sich zu dieser Zeit am Außenrande des Gebirges ein weitgedehntes Band von sandig-schieferigen Ablagerungen, die schon wiederholt genannte Flyschzone. Diese selbst ist gefaltet, die gleichalterigen Bildungen im Inneren des Gebirges aber liegen flach, d. h. sie sind wohl von Brüchen durchschnitten, lassen aber erhebliche Spuren von Faltung gänzlich vermissen. Man kann dies sowohl in den West- und Ostalpen, als auch im Himalaja und besonders deutlich in den Karpathen nachweisen und muß hieraus, wie schon angedeutet, den Schluß ableiten, daß die inneren Zonen des Alpensystems nach Ablauf der älteren Tertiärzeit keine nennenswerte Zusammenschiebung mehr erfahren haben. Man kann sagen: das vordringende Eocänmeer fand die inneren Ketten, wenn man von späteren Abwaschungen durch die Atmosphärilien und von einzelnen Brüchen und Senkungen absieht, der Hauptsache nach im heutigen Zustande vor. Dagegen wurde dem Rande des Gebirges eine weitere gefaltete Zone, die Flyschzone, angegliedert.

So sicher auch dieses Verhältnis im großen und ganzen festgestellt ist, so muß man sich doch vor zu weit gehenden Verallgemeinerungen hüten. In der Gegend von Embrun in der Zentralzone des Mont Blanc ist ein weiter Kessel eingesenkt, in welchem eocäne Schichten in flacher Lagerung auftreten und dadurch den Beweis liefern, daß die Zentralmassen des Dauphiné von

[1] Die Kreideformation wird von oben nach unten in folgende Glieder eingeteilt: a) Senonstufe (nach der gallischen Völkerschaft der Senonen). — b) Turonstufe (nach der Touraine in Frankreich). — c) Cenomanstufe (nach der Stadt Le Mans oder Cenomanum). — d) Gaultstufe (englischer Lokalname). — e) Neokomstufe (Neocomum, lateinischer Name von Neufchâtel). Die drei oberen Stufen faßt man als Oberkreide zusammen.

der nacheocänen Faltung nicht beeinflußt waren. Die östliche Fortsetzung der Mont Blanc-Kette aber zeigt im Berner Oberlande stark zusammengeschobene Eocänbildungen, so daß man wohl annehmen muß, die jeweiligen Faltungsbewegungen hätten ungleich tief in das Gebirge eingegriffen.

Wie das Eocänmeer, so brandete auch das Meer der Miocänperiode an gefalteten alpinen Ketten, ja es sprechen in der Schweiz Anzeichen dafür, daß in diesen Ketten schon damals die Querthäler von heute angelegt waren; findet man doch, wie wiederholt bemerkt worden ist, die Einschaltung von Konglomeraten in die Molasse gerade an den Mündungen dieser Querthäler. Derselbe räumliche Zusammenhang zwischen den heutigen Thalmündungen und den im jüngeren



Der Gipfel der Aiguilles Rouges. (Nach A. Favre.)

Tertiär eingeschalteten Konglomeratmassen besteht im Himalaja. Auch die jungtertiäre Faltung mag die bereits gestauten Ketten verschieden tief beeinflußt haben, ebenso wie die Dauer der Bewegung nicht überall denselben Zeitraum umfaßte. So sieht man z. B. am Außenrande der provençalischen Ketten dieselben Obermiocänschichten in die Faltung einbezogen, die am Rande des Dauphiné horizontal gelagert sind. In den Apenninen und in den alpinen Ketten Griechenlands läßt sich die Fortdauer der Bewegung sogar bis ins Pliocän verfolgen und auch die äußeren Ketten des Himalaja, die Anden Südamerikas und die großen Bergketten des westlichen Nordamerika haben noch im jüngeren Tertiär Aufrichtungen erfahren.

Außer diesen geologisch jungen Bewegungen hat man in den Alpen auch die Spuren einer viel älteren Faltungsepoche erkannt, und diese ist ungefähr mit dem Schluß der Kohlenperiode und vor Ablagerung der Permformation eingetreten. Ch. Lory hat durch den Nachweis flach gelagerter Schollen von Liasbildungen auf gefaltetem und nachmals abgewaschenem Grundgebirge in den Zentralmassen der Mont Blanc-Zone die Aufmerksamkeit auf diese Erscheinungen gelenkt. Der merkwürdige und vielbesprochene Denudationsrest von horizontal liegendem Jurakalk auf einer der Spitzen der Aiguilles rouges (2966 m; s. obenstehende Abbildung) ist wohl

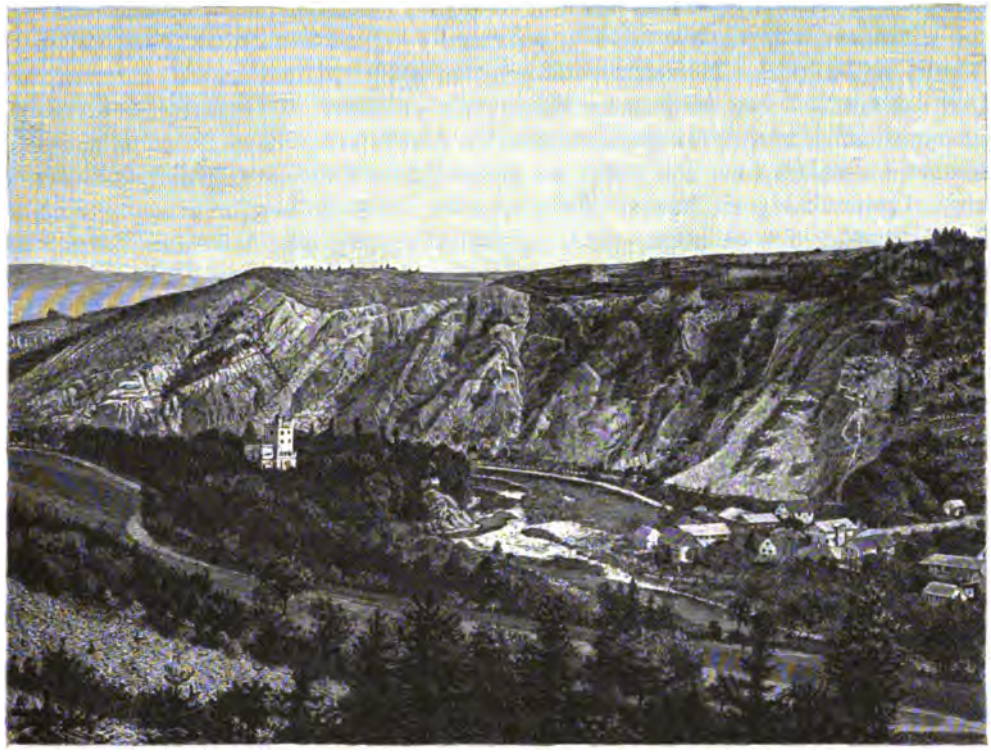
gleichfalls als eine Erscheinung dieser Art aufzufassen. Seither sind ähnliche Lagerungsverhältnisse in vielen Teilen der Alpen beobachtet worden, und immer deutlicher und sicherer treten unter den permischen Sandsteinen und Konglomeraten und den mesozoischen Schollen, die als Reste einer ehemals zusammenhängenden und weit über das Alpengebiet ausgedehnten Decke die kristallinischen Massen überlagern, die Umrisse eines älteren Faltengebirges hervor. An diesen ältesten Bewegungen ist nebst dem kristallinischen Grundgebirge und den örtlich vorhandenen, öfter aber auch fehlenden altpaläozoischen Formationen auch noch die obere, pflanzenführende Kohlenformation beteiligt, aber nicht mehr die Permformation, und dadurch ist das geologische Alter dieser uralten Faltung scharf bestimmt.

Die erste Anlage des Alpensystems fällt somit in eine geologisch weit zurückliegende Zeit. Die Erhebungszonen, die in vorpermischer Periode geschaffen wurden, scheinen für die Ausbildung der späteren Faltungen maßgebend geworden zu sein, denn diese gliederten sich gleichmäßig dem vorgezeichneten Relief an und wurden in demselben Sinne nach außen bewegt. Was aber durch die Faltungsvorgänge einer Epoche geschaffen wurde, sehen wir in den nachfolgenden Perioden teilweise dem Einbruch verfallen, und so kommt es, daß die ältesten Zonen nicht mehr gleichmäßig durch das ganze Gebirge streichen, sondern durch große Bruchfelder in ihrer Einheitlichkeit beeinträchtigt sind oder selbst in Horste übergehen, wie die kristallinischen Zentralmassen der Westschweiz und die Gebirgskerne der Karpathen. Dann bleibt es den äußeren Ketten, der Sandsteinzone und der jungtertiären Molassenzone, überlassen, einen einheitlichen Bogen um das kompliziert gebaute und gebrochene Innengebirge zu spannen; aber selbst diese beginnen das Los ihrer Vorgänger zu teilen, denn wir sehen die Sandsteinzone in der Gegend von Salzburg unterbrochen und in der Gegend von Wien bis auf den Außenrand eingesunken. Am meisten aber verfällt der Innenrand des Alpensystems der Bruchbildung.

Wir können die Besprechung des Alpensystems nicht schließen, ohne noch auf zwei merkwürdige Eigentümlichkeiten der alpinen Sedimentbildungen hingewiesen zu haben; wir meinen die relative Vollständigkeit der Formationsreihe und die große Mächtigkeit der meisten alpinen Sedimente. Wie wir gesehen haben, ist die Schichtreihe auch im Alpensystem nicht ganz lückenlos; so fehlen die älteren paläozoischen Formationen in vielen Gegenden gänzlich oder zum Teil, und nur die Reihenfolge von der Permformation angefangen ist stets vollständig. Noch lückenhafter aber ist die Entwickelung der Formationsfolge in den meisten der sogenannten außeralpinen Gebiete. Die große Mächtigkeit alpiner Ablagerung kommt namentlich in der Triasformation zum Ausdruck. In den Ostalpen z. B. erreicht eine einzige Schichtgruppe dieser Formation, der sogenannte Dachsteinkalk, eine Mächtigkeit von mehr als 1000 m. Dabei zeigt dieser Kalkstein in seinen tiefsten Bänken dieselbe Beschaffenheit wie in den höchsten; er gibt sich nach seinen Versteinerungen als Seichtwasserbildung zu erkennen. Genau dasselbe Verhältnis herrscht bei den mächtigen Sandsteinen und Schiefern des Alttertiärs. Diese Erscheinung zwingt uns zu der Annahme, daß das Wachsen der alpinen Ablagerungen mit einer ungefähr ebenso starken Senkung des Untergrundes verbunden war. Auch in anderen gefalteten Ketten zeigen die Formationen eine außergewöhnlich mächtige Entfaltung, wie im Himalaja oder in den Appalachen; in den Karpathen dagegen und in Teilen der Westalpen ist die Mächtigkeit der Ablagerungen nicht wesentlich größer als im Vorlande. Läßt so das Alpensystem selbst Ausnahmen von dieser Regel erkennen, so werden wir darin um so weniger den Ausdruck eines strengen Gesetzes erblicken dürfen, als auch einzelne ungefaltete Tafelländer bekannt sind, die die Eigentümlichkeit außerordentlicher Formationsmächtigkeit mit den Kettengebirgen teilen.

Das Vorland des Alpensystems.

Wir haben im vorhergehenden Abschnitt die Lage des alpinen Faltenwurfs zu den alten „Massengebirgen" im nördlichen Vorlande der Alpen in Beziehung gebracht und wollen nun versuchen, diesen Gebirgstypus des Vorlandes etwas näher kennen zu lernen. Den Alpen und Karpathen stehen, wie schon erwähnt wurde, unmittelbar gegenüber das französische Zentralplateau, die kleine Masse von Dôle, die Vogesen, der Schwarzwald, die böhmische Masse, die Sudeten;



Horizontale Zechsteindecke über gefalteten Devonschichten in Oberniß bei Saalfeld in Thüringen. (Nach Photographie von E. Brückner.) Vgl. Text, S. 366.

nach demselben Grundplan sind aber auch der Harz, der Thüringer Wald, das Rheinische Schiefergebirge, der Spessart, der Odenwald, die Normandie und Bretagne und der südliche Teil von Irland und England aufgebaut.

Was diese Gebirge auf den ersten Blick von den Alpen unterscheidet, ist der Mangel einer deutlich ausgesprochenen Längserstreckung und die Abwesenheit jener gewaltigen schroffen Gipfel und wild zerrissenen Kämme, die in den Alpen die Bewunderung des Besuchers erregen. Abgeflachte, sanft gewölbte Höhen kennzeichnen die genannten Gebirge, die bald sehr große, bald nur untergeordnete, stets aber mehr oder minder unregelmäßig begrenzte Teile des Kontinents einnehmen. Eine weitere, aus jeder geologischen Karte sofort ersichtliche Eigentümlichkeit betrifft die geologische Zusammensetzung. An dieser sind fast ausschließlich paläozoische Ablagerungen und die kristallinischen Gesteine der archäischen Formation beteiligt. Jüngere mesozoische Schichten finden sich, mit Ausnahme etwa der Oberkreide, nur an den äußersten Rändern der Massengebirge vor; auf den Höhen fehlen sie gänzlich, dehnen sich aber in den meist ebenen Flächen

zwischen den alten Kernen weithin aus. Ebenso fehlen auf den alten Massen marine Ablagerungen der Tertiärzeit; wohl aber trifft man Fluß- oder Süßwasserbildungen, bisweilen mit mächtigen Kohlenflözen, sowie vulkanische Aufschüttungen aus dieser Periode an. Alle diese Verhältnisse stellen die genannten Massengebirge in einen auffallenden Gegensatz zu den Alpen.

Wenn man aber den geologischen Bau dieser Gebirge untersucht, so zeigt sich, daß dieser Gegensatz doch nicht so groß ist, wie man früher zumeist angenommen hat. Die kristallinischen Schiefer und die altpaläozoischen Schichten lassen nämlich dieselben Faltungen, dieselben Überschiebungen, Längs- und Querbrüche erkennen wie die Alpen; sie haben die innere Struktur, aber nicht die lineare Ausdehnung und nicht die Höhe der geologisch jungen Kettengebirge.

Betrachten wir, um dies besser zu verstehen, die Abbildung (S. 365) des Bohlen bei Obernitz im Saalethal. Die untere Partie zeigt mit vollster Klarheit gefaltete Schichten, über denen sich eine Decke von horizontalen Ablagerungen ausbreitet. Die ersteren gehören der Devonformation, die letzteren der Permformation und zwar besonders deren oberem Teile, dem sogenannten Zechstein, an. Wir können aus diesem schönen Aufschluß wichtige Folgerungen ableiten. Offenbar mußte die Faltung früher erfolgt sein als die Bildung der permischen Gesteine, denn sonst hätten diese die ursprüngliche, horizontale Lagerung nicht beibehalten können. Wir sind auf diese Weise in den Stand gesetzt, das geologische Alter der Faltung zu bestimmen und erkennen hier die Spuren der „vorpermischen" Faltungsperiode. Es mußte ferner das gefaltete Gebirge abgewaschen und durch den Einfluß des bewegten Wassers eingeebnet sein, bevor der Absatz der permischen Schichten vor sich gehen konnte, denn diese liegen auf den förmlich abgehobelten Schichtköpfen der älteren Bildung.

Suchen wir andere Punkte in den alten Massengebirgen Mitteleuropas auf, so finden wir überall die altpaläozoischen Schichten der Silur- und Devonformation und die kristallinischen Schiefer intensiv gefaltet, aber zugleich stark denudiert; wir finden ferner, daß diese Massengebirge zu wiederholten Malen einer weitgehenden Abtragung ausgesetzt waren. Die Faltungen geben an Größe und Ausdehnung den alpinen nicht nach, und ebensowenig die Überschiebungen; wir müssen also den Mangel alpiner Gipfel wohl dieser wiederholten Denudation zuschreiben. Mit gutem Grunde nehmen wir an, daß sich ehedem, vor Beginn der zerstörenden Abwaschungen, ein großartiges Gebirge, die „vorpermischen Alpen", erhoben hat, wo heute nur unscheinbare bewaldete Höhen mit sanften Böschungen aus dem Flachland auftauchen.

Auch die Ursache der unregelmäßigen, vom Faltenwurf unabhängigen Begrenzung ist heute mit voller Deutlichkeit erkannt. Die Thatsache selbst tritt bei jedem dieser Gebirgsstücke bestimmt hervor. Ziehen wir z. B. den Harz in Betracht, so sehen wir dieses ungefähr elliptisch umrissene Gebirge mit der längeren Achse gegen Nordnordwesten verlaufen; es besteht aber aus Falten, die nach Nordnordosten, also quer über das Relief streichen. Der Geograph, der nur die äußere Erscheinungsform berücksichtigt, erblickt im Harz ein selbständiges Gebirge, der Geolog dagegen erkennt darin nur eine Fortsetzung des westlich davon gelegenen rheinischen Gebirges, wo dieselbe Faltungsrichtung vorherrscht. Daß aber gegenwärtig beide Gebirge voneinander getrennt sind, hat seinen Grund in dem Niederbruch des dazwischen liegenden Stückes. Ähnlich verhält es sich mit den Vogesen und mit dem Schwarzwald; der Verlauf der Falten ist quer zur äußeren Gestalt dieser beiden Gebirge nach Nordnordosten gerichtet und findet seine Fortsetzung einerseits im französischen Zentralplateau, anderseits im Fichtelgebirge, und auch hier sind große Teile zur Tiefe gesunken, das einheitliche Faltensystem ist in Bruchteile zerstückt worden. Zwischen den niedergebrochenen erheben sich dann die stehengebliebenen oder vielleicht auch nur weniger stark gesunkenen Teile; sie stellen „Horste" dar, und man bezeichnet daher derartige alte Massen auch als Horstgebirge oder Rumpfgebirge.

Wir konnten bei einer Anzahl dieser Horste die nordöstliche Streichungsrichtung der alten Faltenzüge als maßgebend bezeichnen, und auch im Thüringer Wald und im Erzgebirge finden wir dieselbe Richtung ausgeprägt, mögen die durch Bruch bedingten äußeren Begrenzungen wie immer gestaltet sein. Nur das Erzgebirge ist an seinem nordöstlichen Ende in der Richtung der Schichten umgebogen: sie wenden sich nach Osten und schlagen dann weiterhin im Lausitzer und im Riesengebirge die Richtung nach Südosten und in den Sudeten selbst nach Süden und Südwesten ein und bieten so das Bild einer wahren Beugung dar, ganz ähnlich, wie sie z. B. die geologisch jungen Faltenzüge der Karpathen erkennen lassen. Fassen wir alles das zusammen, so kommen wir zu dem Schluß, daß die Lage und das übereinstimmende Streichen der Schichten in den genannten Rumpfgebirgen sehr entschieden für die Annahme sprechen, daß sie in vorpermischer Zeit ein breites zusammengehöriges Kettengebirge gebildet haben, das sich aus dem östlichen Frankreich nach Deutschland erstreckte. E. Sueß hat es mit dem Namen des Variskischen Gebirges, A. Penck mit dem der Mitteldeutschen Alpen belegt. Was uns heute an Bruchstücken dieses Gebirgssystems vorliegt, genügt nicht, die alten Falten in den versunkenen Gebieten gänzlich zu rekonstruieren, denn etwaige Beugungen von der Art der sudetischen lassen sich, wenn versunken und unter einer mächtigen Decke jüngerer Sedimente begraben, nicht erkennen, und Gebirge mit abweichender, gegen Südosten gerichteter Streichung, wie der Bayrische Wald und der Böhmerwald, geben uns über die Art der Verbindung mit dem Ganzen ebenfalls keinen Aufschluß; man kann nur die Zusammengehörigkeit des Gebirges von den Ardennen bis zum Altvater behaupten und muß ferner diesem Variskischen Gebirge einen anderen Zug von vorpermischen Ketten mit dem Streichen nach Ostsüdosten entgegenstellen, der im südlichsten England und Irland sowie in der Bretagne und der Normandie zu Tage tritt. Auch bei diesem Gebirge fällt die Zeit der Hauptfaltung in den späteren Teil der Kohlenperiode; die älteren Glieder der Kohlenformation haben auch hier an der Faltung teilgenommen, während die jüngeren Glieder derselben Formation übergreifend auf den schon abgewaschenen Falten dieses Gebirges aufruhen, welches E. Sueß das Armorikanische[1] genannt hat. Die Falten dieses Zuges sind nordwärts bewegt, ihr Außenrand aber, und dies ist sehr interessant und wichtig, ist nach Norden überschoben. Der Verlauf des überschobenen Außenrandes ist aus der Karte auf S. 357 ersichtlich. Er streicht aus dem südlichen Irland und England in das belgische Kohlenfeld, dessen merkwürdige Lagerungsverhältnisse wir bereits kennen gelernt haben (s. Abbildung, S. 344).

Wie das Alpensystem nach Vollzug der vorpermischen Faltung teilweise eingeebnet und nachher vom Meere wiedergewonnen wurde, so breitete sich auch über die abgehobelten Falten des Armorikanischen und Variskischen Gebirges das Wasser wieder aus; die Absätze der Trias- und Juraformation bedeckten mit wagerechten, mehr als 1000 m mächtigen Bänken kalkiger, sandiger und thoniger Natur die Reste der vormaligen Berge.

Manche Partien allerdings, z. B. der größte Teil des Rheinischen Schiefergebirges, das Fichtelgebirge, das Erzgebirge, das Armorikanische Gebirge, ragten als Inseln aus dem Meere der Juraperiode empor; andere blieben zur Triaszeit teilweise außer Meeresbedeckung, aber im allgemeinen war doch die ältere mesozoische Periode sowohl für die Alpen als auch für deren Vorland eine Zeit übergreifender Meeresbedeckung. Erst mit dem Ende der Jurazeit, in den Alpen etwas später, nach Abschluß der unteren Kreideformation, zog sich das Meer wieder zurück, um zur Zeit der Oberkreide von neuem Raum zu gewinnen.

Mit dieser Periode beginnt eine neue bedeutungsvolle Phase in der geologischen Entwickelung Europas. Während im Alpensystem Faltungen vor sich gehen, kommt es im Gebiet der alten

[1] Nach der Bretagne, die bei den Römern den Namen Armorica trug.

Armorikanischen und Variskischen Gebirge zu den ausgedehnten Abbrüchen, die zu der gegenwärtigen, sozusagen künstlichen Begrenzung der Rumpfgebirge geführt haben. In vielen Gegenden, am französischen Zentralplateau, auf der Südseite des Erzgebirges, in Mittel- und Süddeutschland, quollen aus den Bruchspalten vulkanische Massen; andere Klüfte füllten sich mit Erzen und Mineralien. In den ausgedehnten Niederungen in der Umgebung der Horste blieben die marinen Ablagerungen der mesozoischen Zeit in ihrer ganzen Mächtigkeit erhalten; auf der Höhe der stehengebliebenen Pfeiler dagegen mußten sie sehr rasch der Denudation zum Opfer fallen: sie verschwanden fast gänzlich vom eigentlichen Körper der alten Massen, um die herum sie sich zonenförmig anzulagern schienen.

Man hat darum lange Zeit die bandförmigen mesozoischen Platten in der Umgebung der mitteleuropäischen alten Massen für Littoralgürtel gehalten, die sich aus dem mesozoischen Meere der Reihe nach an das alte Land angesetzt haben sollten. Aber diese mesozoischen Ablagerungen haben gar nicht den Charakter von Küstenbildungen, und die randlichen Brüche, an denen das Gebirge staffelförmig zur Tiefe gegangen ist, sind rund um die Horste nachweisbar. Wir werden noch im folgenden Abschnitt darauf zurückkommen. In neuerer Zeit hat aber diese Frage durch eine höchst merkwürdige Beobachtung in handgreiflicher Weise ihre Lösung gefunden. G. Steinmann hat nämlich bei Alpersbach auf dem Feldbergmassiv, in einer Seehöhe von mehr als 1000 m, eine junge, vermutlich aus der Tertiärzeit stammende Ablagerung gefunden, die zum großen Teil aus abgerundeten Rollstücken von Trias- und Juragesteinen besteht. Die ganze Umgebung ist jetzt aus Gneis zusammengesetzt, und da Rollsteine nicht bergauf gelangen können, so müssen sie von obenher, von der Höhe des Feldbergmassivs, hierher gelangt sein, in einer Zeit, als dieses noch von Trias- und Juraschichten bedeckt war.

Am Schlusse des paläozoischen Zeitalters scheint kein wesentlicher Unterschied zwischen den Alpen und deren jetzigem „Vorland" gewaltet zu haben; wir erkennen in beiden Gebieten Bewegungen, die, hier etwas früher, dort etwas später, zu gleichsinnig nach Norden gerichteten Faltungen geführt haben und auch in beiden Gebieten von vulkanischen Ergüssen, namentlich von Quarzporphyr, begleitet waren. In der Tertiärperiode aber bewahrte die Zone der Alpen gleichsam ihre Plastizität; sie konnte von neuem und wiederholt dem seitlichen Schub nachgeben und Falten bilden, das Vorland aber verhielt sich wie eine starre Masse: es zerbrach und sank in Schollen zur Tiefe. Nur in einzelnen Gegenden kam auch im Vorland eine leichte Faltung in tertiärer Zeit zur Geltung, die Sueß sehr treffend „posthume Faltung" genannt hat. Meistens äußerten sich diese jüngeren Bewegungen in demselben Sinne wie die alte Faltung aus der Zeit der Kohlenformation.

Wir sind in unserer Betrachtung bis zur Nordgrenze des Variskischen und Armorikanischen Gebirges gelangt. Wenn wir diese überschreiten, betreten wir in England und Schottland ein Gebiet, das sich zu den genannten Gebirgen ungefähr so verhält wie diese zu den Alpen, ein Gebiet uralter Horste, deren Faltenzüge in noch viel früherer Zeit aufgerichtet wurden. Hier liegt der alte rote Sandstein des Unterdevons horizontal auf den abgetragenen silurischen Falten; eine vordevonische Faltung tritt hier in dem von E. Sueß so genannten Kaledonischen Gebirge mit voller Klarheit hervor (vgl. Kartenskizze, S. 357) und, merkwürdig genug, auch diese Falten sind nach Nordwesten überschoben. Vom Ausgang des Loch Eriboll im äußersten Nordosten Schottlands erstreckt sich die Überschiebungszone 145 km weit nach Südsüdwesten, und die Geologen des englischen Aufnahmeamtes haben sie mit bewundernswerter Genauigkeit studiert. Das Gebirge zerfällt in zahlreiche „Schuppen" von Gneis und Silur, deren Wechselflächen nach Ostsüdosten geneigt sind. Über die Köpfe eines Systems von zahllosen kleineren Schuppen sind weit größere derartige Schollen mindestens 16 km weit hingeschoben worden. Dadurch

ist in dieser Gegend ein Maß von Komplikation und seitlicher Bewegung geschaffen wie wohl nur an wenigen Punkten der Erde.

Wir kehren nun zu unserem Ausgangspunkt, dem nördlichen Vorland des Alpensystems, zurück, denn noch haben wir einen Teil dieses Vorlandes zu besprechen, der sich freilich in seinem Bau von den mitteleuropäischen Horsten weit entfernt. Es ist dies die russische Tafel (vgl. Kartenskizze, S. 357). Sie steht den östlichen Karpathen gegenüber, doch nicht als ein Gebirgsabhang wie etwa der Südrand der böhmischen Masse, sondern als eine weitgedehnte Ebene. Der aus den Karpathen heraustretende Dnjestr und seine Nebenflüsse haben hier tiefe steilwandige Rinnsale, echte Cañons, ausgefurcht, und so erkennt man, daß unter der diluvialen Löß- und Schotterdecke marine Ablagerungen der jüngeren Tertiärzeit, der Oberkreide, des Oberjura, ferner die roten Sandsteine des Devon und endlich das Silur und archäische Gesteine auftreten. Nirgends findet man auch nur eine Spur von Faltung; alle Schichten liegen horizontal, und erst wenn man das Gebiet als Ganzes in Betracht zieht, erkennt man, daß in Wirklichkeit eine leichte Neigung gegen Südwesten vorhanden ist. So wie der Blick, wenn er vom galizisch-podolischen Plateau nach Rußland schweift, keine Grenze findet in der endlos ausgebreiteten Ebene, so dehnen sich auch die horizontalen Schichten des Untergrundes durch ganz Rußland aus, und erst weit im Norden, am Ufer

Durchschnitt der archäischen Ablagerungen von Petite Nation bis St. Jérôme in Kanada. (Nach Logan.) Der Faltenbau ist der eines Hochgebirges, aber das Terrain ist durch Erosion eingeebnet, das Gebirge (punktierte Linie) ist „erloschen".

des Finnischen Meerbusens, tritt von neuem Granit und Gneis als Unterlage dieser riesigen Tafel hervor, die seit den ältesten Zeiten ihre flache Lagerung bewahrt hat. Horizontal ruhen die ältesten fossilführenden Ablagerungen des Kambriums auf dem gefalteten Gneis der archäischen Formation. Die uralten Felsarten der letzteren sind also nicht nur in vorsilurischer Zeit gefaltet, sondern auch abgewaschen worden, bevor die kambrische Formation zur Ablagerung kam. Hier stehen wir vor den Spuren der ältesten Faltungserscheinungen und finden in der russischen Tafel ein erloschenes Gebirge, ein riesiges Stück Erdkruste, das während der Bildung sämtlicher versteinerungsführenden Formationen in völliger Starre verblieben ist.

Ein anderes Beispiel dieser Art bietet Nordamerika im sogenannten Kanadischen Schild, der ebenfalls aus archäischen Felsarten besteht und nur die Spuren dieser einen ältesten Faltung der archäischen Zeit erkennen läßt (s. obenstehende Abbildung). Beschränkt man sich bei der Betrachtung des Alpensystems auf den Vergleich mit den mittel- und westeuropäischen Rumpfgebirgen, so ist man geneigt, eine Art Gesetz aus der Thatsache herauszulesen, daß man von den Hebriden nach Süden gehend immer jüngere Faltungszonen antrifft; man überschreitet das vordevonische, nachher das karbonische Gebirge, um endlich die jungen Faltungen des Alpensystems zu betreten. Weiter im Osten aber breitet sich am Fuße der Ostkarpathen auf weit größerem Raume die russische Tafel aus; sie ist seit dem Kambrium ungefaltet geblieben und beweist deutlich, wie grundverschiedene Teile der Erdrinde nebeneinander bestehen können.

Hat uns das Alpensystem mit den mehrfach unterbrochenen Faltungsvorgängen aus der Zeit von der Oberkreide bis in das Pliocän bekannt gemacht, so enthüllen uns die Rumpfgebirge ähnliche Vorgänge aus der paläozoischen Ära. Die sogenannte jugendliche Faltung der alpinen Ketten löst sich in Wirklichkeit in eine ganze Reihe solcher Bewegungen auf, die, wie es scheint,

nicht immer das ganze Gebirge ergriffen, sondern hauptsächlich die Ablagerungen der jeweilig neugebildeten und an die bestehenden Ketten angegliederten Zone betroffen, und die sich in verschiedenen Teilen quantitativ ungleich, wenn auch dem Wesen nach übereinstimmend erwiesen haben. Dieser jugendlichen Faltungsepoche steht die paläozoische gegenüber, und auch diese zeigt ihre Unterbrechungen und dasselbe Zusammenwirken von übergreifender Meeresbedeckung und tektonischen Vorgängen; auch diese alten Faltungen haben sich nicht in allen Teilen des Gebirges vollkommen gleichzeitig ereignet. Es ist wahrscheinlich, daß nebst der vorpermischen Faltung auch ältere Bewegungen der paläozoischen Ära in den Alpen eingewirkt haben, soweit Sedimente aus den entsprechenden Zeiträumen abgelagert waren; namentlich darf man eine vorkambrische Faltung der archäischen Schiefer als wahrscheinlich ansehen; allein die Spuren dieser Vorgänge mußten durch die späteren Bewegungen verwischt, mindestens verdunkelt werden, so daß ihr Nachweis schwer ist. Von um so größerer Bedeutung sind die an den Horstgebirgen erkannten Thatsachen. Die beiden großen Perioden der Faltung werden getrennt durch einen langen Zeitraum zunehmender Meeresbedeckung und ununterbrochener Absätze; aus dieser Periode kennen wir mit Sicherheit keine Faltungsvorgänge und wohl deshalb auch nur wenig Eruptionen.

Senkungsgebiete.

Die Untersuchung des inneren Baues der gefalteten Ketten und der Rumpfgebirge zeigt auf das deutlichste, in wie hohem Grade die Gestaltung der Erdkruste durch das Absinken von Schollen an Brüchen beeinflußt wird. Wir werden dieser Seite des Gebirgsbildungsproblems noch einige Aufmerksamkeit zuwenden müssen und knüpfen zunächst an ein Gebiet an, das schon in den vorhergehenden Zeilen erwähnt wurde, das fränkisch-schwäbische Senkungsfeld. Diese Decke von Trias- und Jurabildungen zeigt ungefähr die Gestalt eines Dreiecks; an der Ostseite vom Thüringer- und Frankenwald, dem Fichtelgebirge und dem Bayrischen Wald, an der Westseite vom Oden- und Schwarzwald begrenzt, endet sie im Süden, zwischen Schaffhausen und Regensburg, mit einem auffallenden Steilrand, dem Donaubruch, und gleicht nach dem anschaulichen Bilde von E. Sueß der eingebrochenen Eisdecke eines entwässerten Teiches. „Von den alten Granit- und Gneisgebirgen im Osten und im Westen sinken Trias und Jura in Staffeln zur Tiefe; bevor der große Querbruch an der Donau erreicht ist, fallen noch kreisförmige Stücke mitten im Streichen der Juraformation zur Tiefe hinab, und eins derselben erzeugt den wunderbaren Rieskessel bei Nördlingen. Alle die mannigfaltigen Lagen der schwäbischen Juraformation brechen aber samt der unterliegenden Trias jenseits des Rieskessels längs der Donau zur Tiefe hinab, und ihre Fortsetzung befindet sich unter jener Ebene, an deren südlichem Rande sich die Alpen erheben.

„Seit längerer Zeit hat man den Abbruch an der Donau als den Rand einer großen Absenkung und den Rieskessel als einen Einsturz richtig erkannt; daß dies aber nur Teile eines einzigen großen, bis zum Vogelsberg und bis zum Thüringer Wald reichenden Vorganges der Einsenkung sind, zeigt deutlich eine lange Reihe von Beobachtungen über die Verwerfungen, welche gegen Osten und gegen Westen den Fuß der alten Gebirge begleiten."

An der Ostseite des Senkungsfeldes, an der Grenze gegen den Bayrischen Wald und das Fichtelgebirge, kennt man, dank den Bemühungen W. von Gümbels, 12 derartige weithin verfolgte Spalten. Sie beginnen mit der Keilberger Randspalte, die sich in nordnordwestlicher Richtung vom Keilberg bei Regensburg bis Schwandorf erstreckt und die ältesten Schichtbildungen am Urgebirgsrande zerstückelt und verwirft. Die weiter nördlich folgenden Spalten

laufen fast genau parallel zu einander nach Nordwesten; zunächst die Amberger Spalte, die mit den dort auftretenden Eisenerzablagerungen in enger Beziehung steht und vielleicht in der Seßlacher Spalte ihre Fortsetzung findet; dann die Freiburg-Bayreuther Spalte, die sich ebenfalls durch reiche Erzvorkommnisse auszeichnet, die Weiden-Bodenmühl-Spalte und die zahlreichen anderen, aus deren Reihe wir nur zwei hervorheben möchten, die im Norden von Koburg beginnende Kulmbacher und die Kissinger Spalte. An der ersteren hat sogar eine völlige Überstürzung eines schmalen Streifens von Keuper und Muschelkalk stattgefunden, und die letztere ist sowohl durch ihre Länge wie dadurch ausgezeichnet, daß an ihr die berühmten Kissinger Heilquellen entspringen. Die abgesunkene Reihe beginnt mit dem Rotliegenden, das in steiler Lagerung zwischen dem alten Gebirge und den mesozoischen Schichten eingezwängt erscheint; nur da und dort kommt selbst eine geschleppte Partie der oberen Kohlenformation mit zum Abbruch, und solche Stellen werden zum Zwecke der Kohlengewinnung sorgfältig aufgesucht. Schon in geringer Entfernung vom Urgebirge ist die Lagerung ziemlich flach.

Weiter nordwestlich am Rande des Thüringer Waldes sind die Bruchlinien in sehr eingehender Weise untersucht worden, und es hat sich auch da ein staffelförmiges Absitzen der Schichten gegen Südwesten ergeben, wenn auch die Gleichförmigkeit der Erscheinung bisweilen dadurch etwas unterbrochen wird, daß einzelne Streifen grabenförmig stärker einsinken als die südlich folgende Scholle. An der am genauesten bekannten Verwerfung zwischen Möckers und Beushausen ist in der nordwestlichen Hälfte der nördliche Teil gesenkt, mit einem Höhenunterschiede der Schollen von 370—450 m, während im südöstlichen Teil die Südseite gesenkt ist, eine Erscheinung, die auch anderwärts an Bruchlinien beobachtet wird.

An der Westgrenze des Senkungsfeldes wiederholen sich die Absenkungen in entsprechender Weise. Am Rande des Odenwaldes liegt ein Gürtel von steil abfallendem Rotliegenden, und im anschließenden mesozoischen Lande sind nach Benecke und Cohen drei Systeme von Spalten zu unterscheiden, solche, die gegen Nordosten gerichtet sind und der Umrahmung des Senkungsfeldes entsprechen (Odenwaldspalten), dann nordnordöstlich streichende Spalten, die hauptsächlich am Westrande des Odenwaldes und Schwarzwaldes auftreten und mit der Grabensenkung des Rheinthales in Verbindung stehen (Rheinthalspalten), und endlich zu den genannten Richtungen quergestellte Spalten. Am Schwarzwaldrande sind die zuerst von Elie de Beaumont erkannten Rheinthalspalten scharf ausgeprägt, ebenso an dem gegenüberliegenden Zwillingshorste der Vogesen, und so kommt es hier zu der Bildung der ausgezeichneten Grabensenkung des Rheinthales. Am südwestlichen Rande des Schwarzwaldes liegt die Verwerfung von Kandern, auch am nordöstlichen Rande findet eine Ablösung der mesozoischen Tafel vom alten Gebirge statt, und die gleiche Erscheinung wiederholt sich, wenn auch vielleicht nicht in so ausgeprägter Weise, wie man bis vor kurzem annehmen zu dürfen glaubte, längs der Südostseite. Selbst wenn der Schwarzwald in dieser Richtung statt eines stufenförmigen Absinkens eine mehr allmähliche Senkung zeigen sollte, so würde dies an seiner Natur als Horst und an dem Charakter des schwäbischen Senkungsfeldes nichts Wesentliches ändern. Auch gegen die Mitte und im Süden des letzteren treten Bruchspalten auf, deren Bedeutung als solche schon frühzeitig erkannt worden ist. Manche dieser Verwerfungsspalten sind mit Schwerspat und anderen Mineralien ausgefüllt; treffliche Beispiele dafür bieten die Neubulacher Gänge, der Gang von Schriesheim und die Gänge von Freudenstadt.

Wohl die merkwürdigsten unter ihnen gruppieren sich um das Ries bei Nördlingen, eine kesselförmige Einsenkung von 12—15 km Durchmesser, in der an einzelnen Stellen die Unterlage in Form zersetzten archäischen Gesteins zum Vorschein kommt. Tertiäre Süßwasserbildungen und Quellablagerungen füllen die Ebene, da und dort lagert vulkanischer Tuff, und

es sind mehrere Ausbruchsstellen am Bruchrande vorhanden. Im Randgebirge haben Fraas und Deffner mehrere geradlinige Brüche erkannt, und es scheint, daß die Oberjurakalke der Umgebung des Ries gänzlich zerstückt und von Verwerfungen durchschnitten sind. Es muß indessen bemerkt werden, daß der Rieskessel von gewiegten Forschern nicht so sehr einem tektonischen als vielmehr einem vulkanischen Einbruch zugeschrieben wird. Seine Ähnlichkeit mit kleineren Erscheinungen dieser Art in der Alb, die deutlich den Charakter von „Maaren" an sich tragen, spricht sehr zu gunsten dieser Anschauung.

Kesselbrüche gehören übrigens in tafelförmigen Schollen zu den seltenen Ausnahmen; viel häufiger und bezeichnender sind sie in gefalteten Gebirgen. Sie erscheinen daselbst vorwiegend am Innenrande; eine Tiefebene, ein Binnensee oder ein Meeresbecken deuten ihre Lage an, häufig brechen vulkanische Gesteine an ihrem Rande oder in ihrer Mitte durch. Als solche bald mehr, bald minder deutlich kesselförmige Senkungsfelder haben wir am Südfuß der Alpen die Po-Ebene mit den Basalten des Gebietes von Vicenza und Verona und den Trachyten der Euganeen, die ungarische Tiefebene mit ihren riesigen Trachytmassen, das nach dem Gebirgsstreichen gestreckte Wiener Becken, die Buchten von Landsee und von Graz, endlich das Tyrrhenische Meer mit den italienischen Vulkanen am Innenrande des Apennin und mehrere andere kennen gelernt. Am meisten aber ist in unserem Erdteil der äußerste Südosten durch eminente Kesselbrüche ausgezeichnet, und es möge gestattet sein, diese Region zum Ausgangspunkt zu nehmen, um das Wesen dieser Erscheinungen zu schildern.

Zahllose Inseln liegen zerstreut in dem herrlichen Meere zwischen Griechenland und der kleinasiatischen Küste, aber nicht ganz regellos ist ihre Verteilung im Archipel. Während sich ein Teil davon unmittelbar den Festlandsküsten anschließt, streichen andere, zu Reihen angeordnet, quer über die Breite des Meeres und bilden eine Art untermeerischen Gebirges zwischen Griechenland und Kleinasien, von dem nur die Häupter als Inseln über den Wasserspiegel hervorragen. Ein Blick auf die erste beste Karte zeigt unverkennbar, daß sich die Cykladischen Inseln, mit Andros und Zia beginnend, an die Küste von Attika und Euböa anschließen, während auf der anderen Seite die Inseln Kos, Nisyros, Kalymnos 2c. die Verbindung mit dem kleinasiatischen Festland vermitteln. Durch diesen Zug der Cykladen wird das ganze Ägeische Meer in zwei Becken geteilt, von denen hier das südliche etwas näher ins Auge gefaßt werden mag. Im Süden hängt es nicht in voller Breite mit dem offenen Mittelmeer zusammen, sondern Kreta legt sich mit seiner breiten Gestalt zwischen beide, und Cerigo, Cerigotto, Karpatho und Rhodus reihen sich an dessen beiden Enden an, so daß nur eine Anzahl von Wasserstraßen in dieses Becken führt, in dessen Mitte das Meer die verhältnismäßig sehr große Tiefe von 1200 Faden erreicht, während südlich von Kreta im offenen Mittelmeer der Boden noch tiefer liegt.

Dieses südägeische Becken bietet uns das Bild eines ganz jungen Kesselbruchs. Betrachten wir zuerst Kreta. Diese gebirgige Insel, die heute ziemlich wasserarm ist, hat in ihrem Inneren trockene Hochebenen, mit jungen Geröllschichten bedeckt, in denen man in großer Menge die Knochen einer Art von Hippopotamus gefunden hat, die mit dem gewaltigen Nilpferd der Ströme und Seen Afrikas nahe verwandt ist. Daraus kann man mit Sicherheit folgern, daß diese Hochebenen in der Diluvialzeit unter Wasser gewesen sind, und daß die Insel ein mächtiges System von Wasserflächen, Seen oder Strömen besessen haben muß, wie es für die Existenz jener Tiere notwendig ist. Dieser Zustand war aber nur dann möglich, wenn das heutige Kreta damals noch ein Teil einer weit größeren, heute verschwundenen Landmasse war. Ferner stehen auf Kreta, Rhodus, Kos und anderen Inseln junge Süßwasserbildungen dicht an der Küste des Meeres an Stellen an, wo dieses ganz nahe am Strande in sehr große Tiefen absinkt; es ist also das ehemalige Ufer der Süßwasserseen, welches diese vom Meere trennte, in die Tiefe gesunken. An

der Südostküste von Kos treten jungpliocäne und diluviale Meeresablagerungen in großer Mächtigkeit auf, die Hügel bis zu einer Höhe von 200 m bilden; an ihrem Fuße stürzt der Meeresboden sehr steil, stellenweise unter einem Winkel von 45°, in gewaltige Tiefen ab. Dieser Steilrand kann nur durch ein Absinken an einer Verwerfungsspalte erfolgt sein, welche erst nach der Ablagerung der diluvialen Meeresschichten stattfand, denn sonst hätten die sich ablagernden massenhaften Sedimente eine Milderung des untermeerischen Steilabsturzes bedingen und eine sanftere Böschung erzeugen müssen. Nun bildet aber die Bruchlinie, die am Südrande von Kos verläuft, nicht eine Erscheinung für sich, sondern sie ist nur ein Teil der gewaltigen Spalte, die die nördliche Begrenzung des südägeischen Meeresbeckens bildet. Überhaupt läßt sich durch eine genaue Beobachtung nachweisen, daß dieses ganze Gebiet von einem wahren Netzwerk von Bruchlinien durchzogen ist, an denen die ganze ehemals vorhandene Landmasse zwischen Kreta, den Cykladen, Kleinasien und Morea in die Tiefe brach. Das Vorhandensein diluvialer Hippopotamen auf Kreta und die Verhältnisse auf Kos lassen erkennen, daß diese Senkung erst nach Abschluß der Tertiärperiode stattfand, zu einer Zeit, wo das Menschengeschlecht schon existierte, und der Prähistoriker wird daher die Frage in ernstliche Erwägung ziehen müssen, ob die erste Besiedelung Griechenlands mit Ureinwohnern nicht unmittelbar von Kleinasien aus über diese nun verschwundene Festlandsbrücke stattgefunden hat.

Die erwähnten Fälle sind aber durchaus nicht die Gesamtheit dessen, was sich im Gebiete des Mittelmeers in verhältnismäßig neuer Zeit durch Landverlust verändert hat. Die Karte auf S. 374 stellt nach Anhaltspunkten, die hier zu erörtern uns zu weit ablenken würde, die mutmaßliche Verteilung von Wasser und Land zu Beginn der Pliocänzeit (des jüngsten der vier Hauptabschnitte der Tertiärformation) dar. Die Grenzen des Festlandes sind zwar im einzelnen hypothetisch gezogen, aber in der Hauptsache beruhen die Grundlinien auf bestimmter Deutung beobachteter Thatsachen. Nach der ganzen Gestaltung kann man mit Sicherheit behaupten, daß von dem riesigen Verlust an Land nur ein verschwindend kleiner Teil durch Erosion zerstört worden, der größte aber an Bruchlinien unter das Meeresniveau hinabgeglitten ist.

Malta und Sizilien hingen mit Afrika zusammen, wie das namentlich aus dem Vorkommen von Resten des afrikanischen Elefanten und anderer äthiopischer Säugetiere auf beiden Inseln hervorgeht. An der Ostseite des Apennin hatte das Meer größere Ausdehnung als heute, während der östliche Teil der heutigen Adria trocken lag und der Monte Gargano in Unteritalien noch mit Dalmatien zusammenhing. Noch heute zeigt die Landschneckenfauna des Monte Gargano nach Kobelt nicht italienischen, sondern dalmatischen Charakter. Ferner erscheinen auf vielen istrischen und dalmatischen Inseln die Reste großer Landtiere, wie vom Pferde, Bison, Hirsch und Rhinozeros, in roten diluvialen Knochenbreccien eingeschlossen, und diese finden sich selbst auf Klippen, deren Oberfläche nur wenige Quadratmeter mißt, wie die Klippe Zabodacki bei Lussinpiccolo oder das Felsriff Silo südlich von Canidole piccole, das bei jeder Flut ganz vom Meere bedeckt wird. Natürlich können diese Tiere unmöglich auf den winzigen Klippen gelebt haben, sondern es muß ein großes, weites Festland bestanden haben, dessen Existenz noch durch weitere Thatsachen erhärtet wird. Auf den Inseln Canidole, Unie und Sansego erscheint über dem Kreidekalk eine feinsandige, wohl über 15 m mächtige lößähnliche Bildung, die auch an der südistrischen Küste nachgewiesen worden ist. Ihre Übereinstimmung mit den feinen Anschwemmungen großer Ströme, z. B. der Donau, ist auffallend. Marchesetti fand darin in einer verfestigten Lage Schalen von lebenden Landschneckenarten, und es kann kein Zweifel sein, daß diese Ablagerungen, die sich über niedrigen Kalkfockeln unmittelbar aus dem Meere erheben, die Sedimente eines größeren Stromes vorstellen. Noch in jungdiluvialer Zeit müssen demnach diese Inseln mit dem istrisch-dalmatischen Festlande in Zusammenhang gewesen sein. Der Meeresteil

Karte des östlichen Mittelmeeres zur älteren Pliocänzeit. Vgl. Text, S. 373.

zwischen den Jonischen Inseln und dem griechischen Festland existierte noch nicht, und von dem ganzen Griechischen Archipel war nur eine kleine Bucht vorhanden, die zwischen Kreta und dem Peloponnes bis in die Gegend von Athen und Megara reichte. Weder die heutige Südseite von Kreta noch die von Kleinasien war vom Meere bespült, und nirgends erreichte dieses die heutige Küste von Nordafrika, Palästina oder Syrien; ein Meeresarm erstreckte sich allerdings nach Osten, wie das Vorkommen pliocäner Meeresbildungen auf der Insel Cypern beweist, doch kann er keine große Ausdehnung gehabt haben.

Wenn wir dieses außerordentlich große Areal berücksichtigen und bedenken, daß der Meeresspiegel damals sehr viel höher stand als heute, und daß jetzt in dieser Region stellenweise Meerestiefen von mehr als 3000 m vorhanden sind, so ergibt sich diese Massenbewegung (der Betrag der Senkung) als ganz riesig und das, was die Gebirgsbildung dort in demselben Zeitraum geleistet hat, dagegen als recht bescheiden. Überhaupt spricht eine Reihe von Erwägungen dafür, daß die Senkung an Bruchlinien der maßgebende Hauptfaktor in der Veränderung der Erdoberfläche ist, dem gegenüber sich die Faltung und Aufrichtung der Gebirge durch Horizontalbewegung nur als eine Nebenerscheinung darstellen. Aber nicht nur die unmittelbar von der Senkung betroffene Region wird von diesen gewaltigen Vorgängen beeinflußt, sondern auch am Meeresspiegel gehen durch sie Veränderungen vor: die entstandenen Tiefungen werden vom Meere überflutet, und so gewaltig auch die Wassermasse des Ozeans ist, so muß doch das Abströmen des Wassers in das große, neugebildete Becken, wie Sueß gezeigt hat, schon einen merkbaren Einfluß ausüben und ein allgemeines, wenn auch nicht bedeutendes Sinken des Meeresspiegels auf der gesamten Erdoberfläche bedingen.

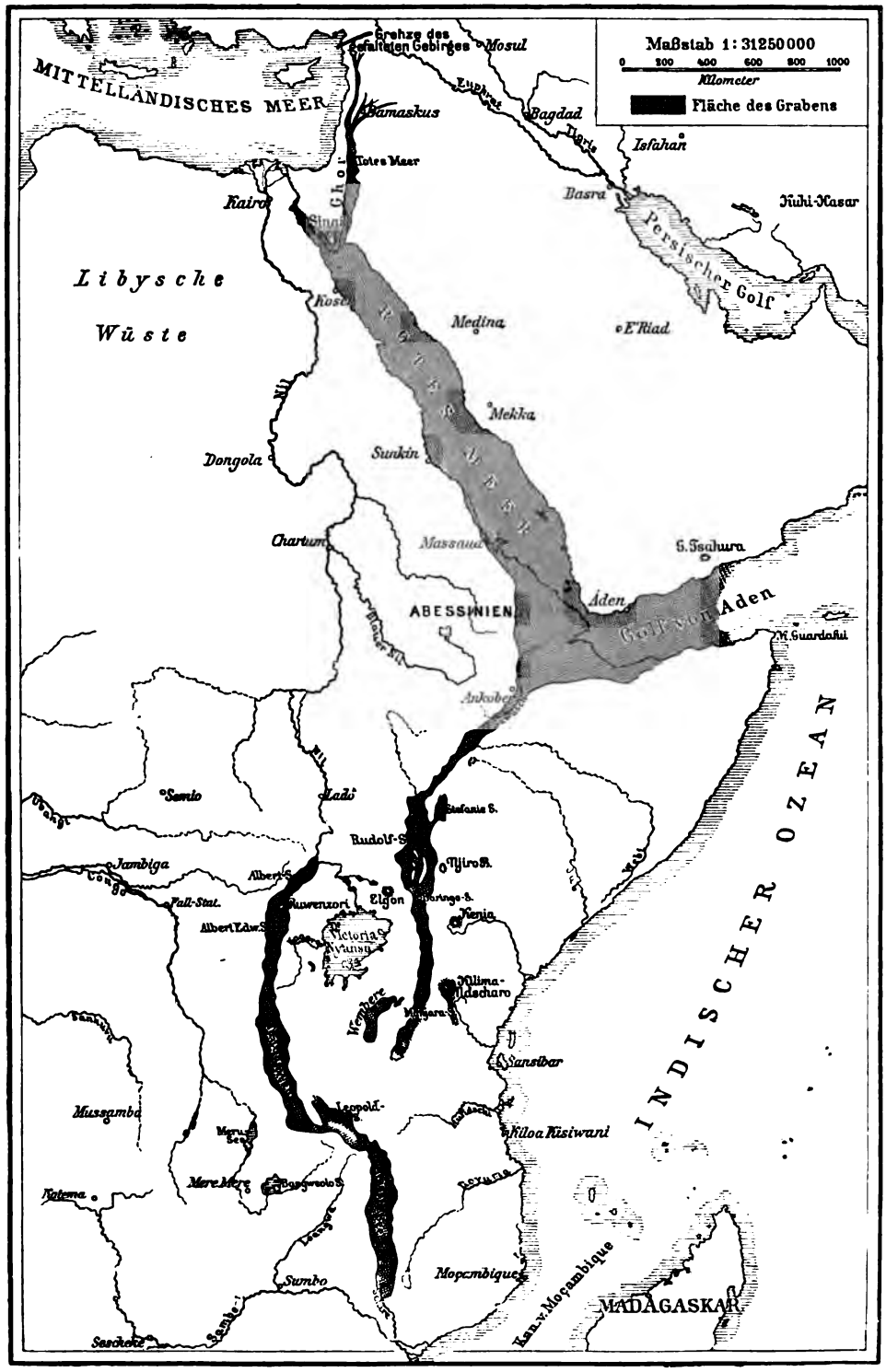
Gewiß werden erweiterte Studien noch eine große Zahl solcher Kesselbrüche erkennen lassen; vorläufig können wir noch als eminente Erscheinungen dieser Art die von Festoninseln umgebenen Meeresteile Ostasiens anführen. Das Japanische, das Ochotskische, das Bering-Meer sind vortreffliche Beispiele, und weitere lassen sich im weiten Bereich der malayischen Inselwelt konstatieren, obwohl es kaum zulässig ist, unter den komplizierten Verhältnissen, die dort herrschen, die einzelnen Linien ohne Studien an Ort und Stelle nur aus der Landkarte zu entziffern. Endlich stellt im Gebiete des Atlantischen Ozeans das Karibische Meer zwischen Zentralamerika im Westen, der südamerikanischen Nordküste im Süden und der Inselreihe der Antillen im Norden und Osten einen großen Kesselbruch dar, und auch die Faxabucht in Island gehört dahin.

Wenn im Vorhergehenden die außerordentliche Bedeutung der Senkungen für die Gestaltung der Erdkruste hervorgehoben wurde, so hat dies durch eine Entdeckung aus neuester Zeit, den „großen ostafrikanischen Graben", vollauf Bestätigung gefunden. Der Erscheinung des Grabenbruches haben wir schon wiederholt Erwähnung gethan; sie tritt ein, wenn zwischen zwei parallelen Bruchlinien ein langer, schmaler Streifen Landes versinkt. Das Rheinthal zwischen Schwarzwald und Vogesen, das Leinethal bei Göttingen, das Rote Meer, das Thal des Jordans und des Toten Meeres, die langgestreckten Senkungen auf Island, der Erzgebirgsbruch sind Beispiele dafür; aber sie werden sämtlich durch die afrikanischen Gräben an Großartigkeit bei weitem übertroffen. Bei diesen gewaltigen Dislokationen sind riesige Mengen vulkanischer Massen zur Oberfläche gefördert werden. Dort stehen erloschene Feuerberge von größten Dimensionen, wie der Kilimandscharo und Kenia, und in geringerem Grade ist der Vulkanismus dieser Gegend, z. B. am Teleki-Vulkan, noch heute thätig. Die betreffenden vulkanischen Erscheinungen sind schon im Vorhergehenden beschrieben worden (s. S. 221), wir können uns also hier auf die tektonischen Verhältnisse beschränken. Das Gebiet der großen Dislokationen zeigt einen einfachen geologischen Bau. Weithin besteht das uralte Plateauland aus archäischen Felsarten, aus Gneis, Glimmerschiefer, Granit, durchsetzt von Porphyren und Grünsteinen und teilweise bedeckt von

geologisch jugendlichen Basaltströmen. Nur an der Ostküste verläuft ein langgezogenes Band von Kalksteinen und Schiefern des Mittel- und Oberjura. In einzelnen Gegenden liegt noch darunter eine Sandsteinbildung unbekannten Alters; im Somallande steht mit dem Oberjura, wie es scheint, auch das Neokom, also die älteste Stufe der Kreideformation, in Verbindung. Die Bruchserscheinungen beginnen schon vom 16. oder 15. Grad südl. Breite; zwei meridional verlaufende hohe Steilabfälle begleiten in Entfernungen von mindestens 50 und höchstens 80 km das Thal des Shiréflusses und weiterhin die Ufer des Nyassa-Sees (s. Abbildung, S. 377). Am nördlichen Ende des letzteren wendet sich die Richtung des Abbruches deutlich gegen Nordnordwesten, und die weitere Fortsetzung dieser abgelenkten Senkung weist auf den abflußlosen Leopold-See und auf den Tanganjika. In der That ist die lange, tiefe und felsige Mulde des Tanganjika, seit man ihn näher kennt, stets für einen tektonischen Einbruch gehalten worden, von dessen Großartigkeit der Umstand Zeugnis gibt, daß die Tiefe des Sees 1700—2700 m, die Höhe des mauerförmigen Steilabfalles aber 2000—2400 m, ja selbst 3000 m beträgt. Nördlich vom Tanganjika umrahmen die meridional fortstreichenden Bruchränder das Thal des Russisi-Flusses, und die weitere, etwas nach Nordnordosten abgelenkte Fortsetzung des Grabens ist wohl sicher in der Senkung des Albert- und Albert Edward-Sees zu suchen. Die Ränder der Senkung erscheinen aufgewulstet, wie wenn hier das Bersten der Erde mit einer gewissen Aufwärtsbewegung der plötzlich freigewordenen Bruchränder verbunden gewesen wäre. Mit dieser eigentümlichen wulstigen Formung der Plateauränder hängt es wohl auch zusammen, daß unmittelbar östlich vom Abfall des Tanganjika die Nilquellen entspringen, während sich der See selbst zum Kongo entleert.

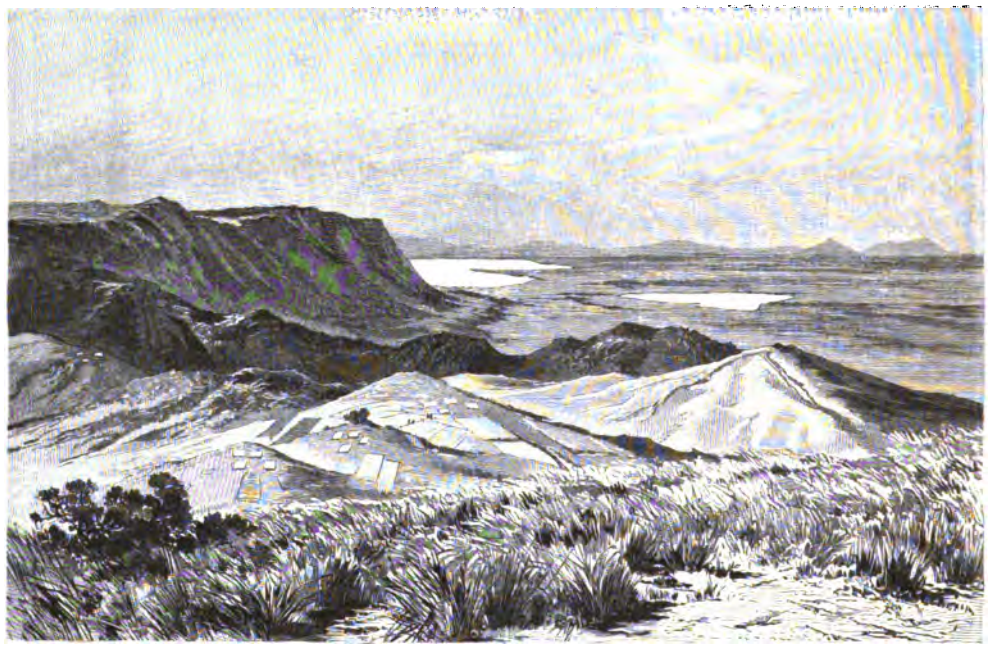
Nördlich vom Nyassa erhebt sich zunächst archäisches Gebirge zu bedeutenden Höhen, eine unmittelbare Fortsetzung des Nyassagrabens in meridionaler Richtung ist also nicht vorhanden. Weiter nördlich aber, soviel man bis jetzt weiß, ungefähr unter 6° südl. Breite, erscheint im Meridian des Nyassasees abermals gesenktes Land, es beginnt der große ostafrikanische Graben. Man kann ihn mit Recht den „Großen Graben" nennen, denn er steht in Bezug auf die Großartigkeit der Erscheinung einzig da. Er ist durch mehr als 40 Breitengrade zu verfolgen; ungefähr am 36. Meridian östl. Länge einsetzend, erfährt er am Ostrande des Abessynischen Hochlandes eine Ablenkung gegen Nordosten, kehrt aber im Roten Meere wieder in die Richtung des verlassenen Meridians zurück. Einzelne Teile dieser Dislokation waren schon seit langem bekannt, aber erst durch die kühne Forschungsreise des Grafen Teleki und des Leutnants von Höhnel wurde die Möglichkeit gegeben, die getrennten Stücke in Verbindung zu bringen, und dies ist durch E. Sueß in meisterhafter Weise geschehen. Später haben noch Hans Meyer und O. Baumann zur Aufhellung des südlichsten Teiles der Spalte wesentlich beigetragen.

Der Charakter der Dislokation unterliegt gewissen Abänderungen, was bei ihrer ungewöhnlichen Ausdehnung sehr begreiflich ist. So zeigt der südliche Teil des Großen Grabens nach O. Baumann nur auf der Westseite einen Steilrand; das 1800—2000 m hohe Plateauland fällt mauerförmig zur Sohle des gesunkenen Streifens ab, dessen Ostrand flach verläuft (s. Abbildung, S. 378). Eine Reihe abflußloser, fast durchaus salziger Seen breitet sich am Grunde der Senkung aus, zuerst die Sümpfe des Bubu, der Balangdasee (1600 m), flankiert vom Vulkan Gurui (3100 m), der süße Maitsimba (1441 m), der Laua y Sereri, der Manjara (1000 m). Noch tiefer sinkt die Sohle des Grabens am Natronsee (650 m) und am kleinen Doglansee, um weiter nördlich am Naiwascha (1860 m), Angata Nairogna (1840 m), Baringo (1115 m) ꝛc. wieder anzusteigen und endlich in der muschelbedeckten Sukatasteppe und dem Rudolf-See (400 m) die tiefste Lage zu erreichen. Weit weniger als in der zentralen Bruchspalte des Nyassa und Tanganjika tritt hier das schematische Bild des Grabens hervor. Wohl sind die linearen



Grabenbrüche in Ostafrika. (Nach E. Sueß, Dr. Hans Meyer, O. Baumann u. a.)
Vgl. Text, S. 375 — 379.

Randbrüche, die eine absolute Höhe von 400—1000 m erreichen, unverkennbar, aber sie sind sehr ungleich ausgeprägt, und es zeigen sich in der Tiefe des Grabens gestreckte Schollen, die weniger stark gesunken erscheinen. Dies gilt namentlich für die Gegend südlich vom Rudolf-See, die E. Sueß mit folgenden Worten kennzeichnet: „Im ganzen gleicht dieses Gebiet allem Anscheine nach mehr einer lange fortlaufenden Zone der Zerteilung der Erde in längliche Schollen und Trümmer, wie solche entstehen mag, wenn ein in großer Tiefe vorhandener Spalt gegen oben in zahlreiche lange und sich maschenförmig durchkreuzende Klüfte wäre zersplittert worden, welche Trümmer und Schollen dann in ihrer Gesamtheit, aber zu ungleicher Tiefe abgesunken



Aussicht von Meri (Iraku) auf den Großen Ostafrikanischen Graben, mit dem Manjara-See und dem Kilimandscharo im Hintergrunde. (Nach O. Baumann.)

wären. Jüngere Laven und Aschen wären dann zwischen den Trümmern aufgestiegen, das heutige Bett der Senkung teils ausebnend und teils in demselben die Mulden abschließend, in welchen die Reihe der abflußlosen Seen liegt." Mit dieser Zersplitterung des Hauptbruches steht wohl auch das Vorkommen von Seitengräben und Parallelbrüchen in ursachlichem Zusammenhang. Östlich vom Rudolf-See liegt in einem derartigen tiefen Seitengraben der Stefanie-See, ein anderer führt zum Riesenvulkan Elgon, und auch der Kilimandscharo wird von O. Baumann in eine derartige Parallelsenkung östlich vom Manjara verlegt. Westlich von diesem See senkt sich der Wembere-Graben tief ein, und auch die Zentralspalte des Nyassa und Tanganjika scheint von solchen Nebenbrüchen begleitet zu sein.

Östlich vom Rudolf-See folgt eine bisher noch wenig bekannte Strecke bis an den Norden der ostabessynischen Randseen bei ungefähr 8° nördl. Breite und schließlich wieder der bekanntere Teil am Hawaschflusse bis zur Küste des Roten Meeres, dessen Senkung sich einerseits in den Golf von Suez, anderseits in den Golf von Akaba an der Ostseite des Sinai fortsetzt und hier durch das Wadi Araba in das Tote Meer und das Thal des Jordans eintritt. Die Tiefe des Toten Meeres wird durch eine meridionale grabenartige Versenkung gebildet, deren Ostrand

steil herabsinkt, während die westlichen Abhänge in treppenförmigen Verwerfungen niedergehen. Das gebrochene Gebirge besteht hier aus Schichten der Oberkreide. Auch hier sind parallele Nebenbrüche, und zwar schon in der Masse des Sinai, vorhanden. Nördlich vom See von Hule erfahren die Brüche eine Ablenkung gegen Nordosten, es erscheint die Grabensenkung von Baalbek, zahlreiche Brüche treten fächerförmig in nordöstlicher Richtung gegen die palmyrenische Wüste auseinander, und von diesen gehen nach Diener einzelne in Flexuren, einer selbst in einen langen Sattel über. Am Nordende des Libanon tritt eine neuerliche Beugung zur meridionalen Richtung ein; der Grabenbruch senkt sich in die Basaltmasse von Homs ein und läßt sich nach Blanckenhorns Beobachtungen bis an den Rand der gefalteten tauriſchen Ketten nachweisen.

Viele Thatsachen bezeugen das geologisch jugendliche Alter dieses Riesenbruches. Hat er doch in mehreren Strecken junge basaltische Laven betroffen, wie in Syrien, in Abessynien und im äquatorialen Afrika. Im nördlichen Teile Syriens hat Blanckenhorn pliocäne Süßwasserbildungen von diesen Verwerfungen durchschnitten gefunden. Demnach müssen wir die Entstehung des Großen Grabens wohl in die allerjüngste Tertiärzeit versetzen; ferner müssen wir annehmen, daß er zur diluvialen Eiszeit der Hauptsache nach bereits ausgebildet war, denn wir finden in allen den zahlreichen abflußlosen Seen, die in der Tiefe des Grabens gebettet sind, Strandterrassen als Marken eines höheren Wasserstandes, den man wohl mit Recht mit dem Wandel der klimatischen Verhältnisse zur Eiszeit in Verbindung bringt. Dem Tanganjika-Graben dagegen scheint ein höheres geologisches Alter zuzukommen; seine merkwürdige marine Reliktenfauna[1] läßt kaum eine andere Deutung zu. Zu völligem Abschluß sind indessen die Bewegungen an den afrikanischen Spalten auch heute noch nicht gelangt, wie die ausklingende vulkanische und die noch ziemlich beträchtliche seismische Thätigkeit bekunden. So bietet denn diese so viele Breitengrade durchmessende Dislokation außerordentliche Verhältnisse dar. Bald bildet sie nur einen Sprung oder ein Bündel von Verwerfungen, wie in Syrien, bald einen Sprung mit einseitigem Absinken, wie am Toten Meere oder südlich vom Manjara-See (s. Abbildung, S. 378); dann erscheint sie wiederum in Form des echten Grabens, wie am Roten Meere, oder in Form eines gegen die Oberfläche zersplitterten Bruches mit ungleich versenkten und zu einem gemeinsamen Graben vereinigten Schollen. So wie Dutton bei Beschreibung des Gunnison Valley, eines 20 englische Meilen langen und 3 englische Meilen breiten Grabens im Great Basin des nordwestlichen Amerika, die Entstehung dieser Grabensenkung auf das Hinabsinken eines Blockes zurückführt, welches durch das Auseinanderziehen des geschichteten Gebirges verursacht wurde, so hält auch E. Sueß die Bildung dieser unvergleichlichen Spalte nur durch die Annahme einer Spannung für erklärbar, „deren Richtung senkrecht steht auf der Richtung der Spalte, und welche Spannung in dem Augenblicke des Berstens, d. i. des Aufreißens der Spalte, ihre Auslösung findet".

Wesen der Gebirgsbildung.

Die zahlreichen und großartigen Erscheinungen, die wir bis jetzt kennen gelernt haben, lassen sich auf zweierlei Arten von Kräften zurückführen: auf solche, welche senkrecht nach unten, und auf solche, die ganz oder nahezu horizontal wirken. Welcher Art aber diese Kräfte sind, und durch welche Vorgänge in den Erdmassen sie bedingt werden, das ist die Frage, zu deren Besprechung wir uns nun wenden müssen. Ehe wir näher auf den Gegenstand eingehen, möge es gestattet sein,

[1] Wenn beim Rückzug eines Meeres in Senkungen Meerwasser und darin marine Fauna zurückbleibt, so passen sich bei der Aussüßung solcher Seen die marinen Formen teilweise unter gewissen Veränderungen ihrer Eigenschaften den neuen Lebensbedingungen an. Solche Faunen nennt man Reliktenfaunen.

daran zu erinnern, daß alle die Erscheinungen der Gebirgsbildung, so großartig sie sich dem Maßstab unserer Sinne darstellen, doch in Wahrheit äußerst geringfügig sind im Vergleich zur Masse der Erde. Nur wenige Gipfel der allerhöchsten Gebirge erheben sich zu einer Höhe von mehr als 7000 m über das Meeresniveau, sehr wenige übersteigen 8000 m. Da nun der Durchmesser der Erde ungefähr 12,734,5 km beträgt, so erreicht der höchste bis jetzt gemessene Berg, der 8839 m hohe Gaurisankar, nur $^1/_{1440}$, unser höchster Alpengipfel, der Montblanc, mit 4804 m nur $^1/_{2630}$ des Erddurchmessers. Diese Auftreibungen der Oberfläche sind also verhältnismäßig noch lange nicht so bedeutend wie die Runzeln auf der Schale einer Apfelsine.

Als einen zweiten Gegenstand von Wichtigkeit müssen wir im Auge behalten, daß die Faltung der Gebirge nach ihrem ganzen Wesen ein Vorgang sein muß, der nicht weit in die Tiefe reicht, sondern nur die oberflächlichen Partien der Erdrinde betrifft. Es genügt wohl, ein naturgemäß gezeichnetes Gebirgsprofil zu betrachten, um sich zu überzeugen, daß diese Wellen nicht weit nach abwärts dringen können.

Daß das Einsinken an Spalten, die Bildung von Senkungsfeldern und Verwerfungen lediglich unter der Einwirkung der Schwere vor sich geht, daß außer dieser kein aktiver Zug in die Tiefe vorhanden ist, bedarf kaum einer eingehenden Erörterung; damit jedoch eine Senkung stattfinden kann, muß die betreffende Scholle der Unterlage entbehren, es muß eine Zusammenziehung im Inneren stattfinden. Die Faltenbildung ihrerseits stellt ein Zusammenschrumpfen der Oberfläche auf kleinerem Raume dar, eine Zusammenschiebung, die sich am besten unter der Voraussetzung erklärt, daß sich die tieferen Teile der Erde zusammenziehen, die äußeren Partien dagegen annähernd ihre alte Ausdehnung behalten und sich nun falten müssen, um sich dem verminderten Volumen ihrer Unterlage anzuschmiegen. Es geht daraus hervor, daß man nicht etwa in irgend einem Teile der Oberfläche eine aktiv nach vorwärts schiebende Kraft suchen darf, sondern auch hier nur den Zug in die Tiefe, die Schwerkraft, in Betracht ziehen muß, die aber, wie in einem Kuppelgewölbe, als das wir die Teile der Erdrinde auffassen müssen, in horizontalen Seitendruck umgesetzt wird, denn in einem flachen Kuppelbau lastet ein mächtiger Seitendruck auf den Pfeilern, obwohl nur die senkrecht wirkende Last der Gewölbesteine zu tragen ist. Wir können also für die Faltung oder Überschiebung wie für die Senkung eine einheitliche Ursache, die Wirkung der Schwere, annehmen, die je nach den örtlichen Verhältnissen in der einen oder anderen Form zur Geltung kommt; wir müssen nun untersuchen, ob die thatsächlichen Verhältnisse einer solchen einfachen Erklärung entsprechen.

Die erste Bedingung für die Ausübung einer dieser Schwerewirkungen ist natürlich die, daß den oberflächlichen Partien der Erde die Unterlage entzogen werde. Auf welche Weise dies geschieht, ist eine zweite Frage, die von verschiedenen Seiten verschieden beantwortet wird. Man hat versucht, lediglich dem Wasser diese Rolle zuzuschreiben, indem man annahm, daß dieses bei der Zirkulation in der Tiefe fortwährend Stoffe auflöst und auf diese Weise unterirdische Hohlräume erzeugt, wohin Schollen der Oberfläche nachsinken; daß diese Schollen dann, indem sie immer tiefer sinken, von den Rändern der Versenkung einen Seitendruck erleiden und auf diese Weise unter Umständen gefaltet werden. Eine solche Erklärung der Entstehung der Kettengebirge ist jedoch unhaltbar. Es müßten nach dieser Hypothese die Gebirge vertieft zwischen erhöhten flachen Hochländern liegen, und es wäre z. B. im Hinblick auf die Alpen unverständlich, wie dieses hoch über seine ganze Umgebung emporragende Gebirge eine Versenkung darstellen soll.

Somit bleibt nur die eine Annahme übrig, daß alle die erwähnten Wirkungen lediglich durch die allmähliche Abkühlung der Erde hervorgebracht werden. Wir wissen, daß unser Planet in früher Vorzeit eine geschmolzene Masse war, die durch Erkaltung allmählich erstarrte. Ob in der Tiefe noch geschmolzene oder gasförmige Massen vorhanden sind, ist zweifelhaft,

vermutlich ist die Rinde sehr dick, und jedenfalls herrscht im Inneren eine außerordentlich hohe Temperatur, die aller Wahrscheinlichkeit nach den Schmelzpunkt der Gesteine unter dem Drucke nur einer Atmosphäre um ein sehr Bedeutendes übersteigt. Wenn sich nun der heiße Kern im Inneren noch fortwährend abkühlt, was nicht bezweifelt werden kann, so muß er sich auch fortwährend zusammenziehen und so die Bildung von Senkungen und Faltungen ermöglichen.

Man hat dies zu bestreiten gesucht mit dem Hinweis, daß beim Abkühlen einer geschmolzenen Kugel im kalten Raume ganz andere Erscheinungen hervortreten müßten. Anfangs allerdings muß die äußerste Hülle rascher erkalten; die sich bildende Kugelschale wird sich schneller zusammenziehen als die inneren Teile, sie wird zerklüften, und es werden nach unten sich verschmälernde Spalten entstehen; aber in einem späteren Stadium, wenn die Oberfläche die Temperatur der Umgebung angenommen hat, während in der Tiefe noch ungeheuer hohe Hitzegrade weit über dem Schmelzpunkt der Gesteine (bei einer Atmosphäre Druck) herrschen, wird die Abkühlung nur von dem Wärmeschatz des Inneren zehren. Man hat zwar geglaubt, daß sich selbst unter den günstigsten Verhältnissen dabei bloß die im früheren Abkühlungsstadium gebildeten Spalten füllen würden; allein diese Annahme ist unrichtig. Es ist sehr unwahrscheinlich, daß an irgend einer Stelle der Erde die ursprüngliche Erstarrungskruste sichtbar sei; sie liegt unter einem Mantel von Sedimenten und Eruptivgesteinen, die längst auch diese Spalten ausgefüllt haben.

Auf der ganzen Erde findet man unter der dünnen Schicht, die mit dem Wechsel der Jahreszeiten wärmer und kälter wird, überall eine genau der mittleren Jahrestemperatur der Atmosphäre entsprechende Bodentemperatur, und wie wir in einem späteren Abschnitt sehen werden, herrschte dieses Verhältnis aller Wahrscheinlichkeit nach schon während der paläozoischen Zeit. Alle Wärmeverluste durch Strahlung, durch Vulkane und warme Quellen werden von den tieferen Lagen bestritten, und von diesen aus findet selbst eine Durchwärmung der sich bildenden Sedimente statt, die ja bekanntlich auch nach der Tiefe hin an Wärme zunehmen. Unter diesen Umständen kann kein Zweifel sein, daß in der Tiefe eine Zusammenziehung stattfindet, während in den oberen Regionen die Temperatur, somit das Volumen, gleich bleibt oder selbst sich steigert. Außerdem wird auch, allerdings in verhältnismäßig geringem Maße, durch die Vulkanausbrüche Material aus der Tiefe genommen.

Daß auf die angedeutete Weise notwendig seitliche Spannungen entstehen müssen, wird also nicht bezweifelt werden können; dagegen stellen sich noch große Schwierigkeiten dem Versuche entgegen, die einzelnen Äußerungen dieser Kraft genau auf ihre nächsten Ursachen zurückzuführen und zu bestimmen, unter welchen Umständen die eine oder die andere Wirkung erzielt wird. Zunächst wird in den oberflächlichen Schichten natürlich eine Spannung eintreten, die anwächst, bis sie im stande ist, den Widerstand der Gesteine allmählich zu überwinden. Aber selbst bei vorhandener Spaltenbildung kann es zu keinem Absinken in die Tiefe kommen, da immer noch die geborstenen Stücke der Erdrinde wie die keilförmigen Steine eines künstlichen Gewölbes sich tragen. Es wird also in erster Linie durch den gewaltigen Seitendruck, den die Gewölbespannung ausübt, an irgend einer Stelle eine Zusammenschiebung erfolgen müssen und entweder eine reine Faltung entstehen (z. B. im Juragebirge), oder eine Scholle unter gleichzeitiger Faltung oder seltener ohne diese in der Weise verschoben werden, daß einer ihrer Ränder emporgedrängt wird und schroff abbricht, wie es bei den Gebirgen der Fall ist, die auf der einen Seite altkristallinische Gesteine enthalten, während sie nach der anderen in immer seichter werdende Falten auslaufen (z. B. in den Karpathen). Durch den Abbruch des Schollenrandes wird Raum gewonnen, die Gewölbespannung in den nicht gefalteten Teilen hört auf, und die einzelnen Schollen können in die Tiefe absinken. Auf diese Weise bilden sich die Senkungsfelder am Innenrand der Gebirge, aus denen die Eruptionen vulkanischer Gesteine stattfinden.

Die durch Schrumpfung des Kernes veranlaßten Vorgänge in der Erdkruste müssen sich vielfach in einer Aufwärtsbewegung der Massen äußern. Wenn eine horizontal liegende Schicht in Falten gelegt wird, so wird natürlich der Scheitel der Falten höher liegen als ursprünglich die ungestörte Fläche. Es findet also eine Emportreibung von Gesteinsmaterial statt, und dieser verdanken die Kettengebirge der Hauptsache nach ihr Hervorragen über ihre Umgebung.

Auch bei der Bildung von Verwerfungen sind analoge Erscheinungen nicht ausgeschlossen. Denken wir uns eine horizontale Schichtentafel, deren eine Hälfte im Absinken begriffen ist. Ehe der diesen Vorgang begleitende Bruch erfolgt, kann bei elastischer Beschaffenheit des Materials, die ja den Gesteinen nicht ganz fehlt, zuerst eine Biegung der Tafel eintreten. Endlich bildet sich ein Sprung, eine Spalte, an der der sinkende Teil abgleitet. Der nach abwärts gebogene Rand der stehen gebliebenen Scholle wird möglicherweise wieder in die horizontale Lage zurückkehren, oder sich ihr wenigstens nähern und sich dabei nach aufwärts bewegen. Der Umstand, daß man in mehreren Fällen an großen Brüchen sehr junge Meeresablagerungen in großer Höhe über dem Meeresspiegel horizontal liegen sieht, kann vielleicht in dieser Weise erklärt werden. Auch die im Vorhergehenden beschriebene Aufwulstung der Ränder der Tanganjika-Spalte gehört vielleicht in diese Gruppe von Erscheinungen.

Hebungen nach Art der eben besprochenen sind vorwiegend als Begleiterscheinungen aufzufassen. Wir können uns aber auch vorstellen, daß mit dem Niedergehen einzelner Krustenteile unter günstigen Verhältnissen unmittelbar ein Aufsteigen anderer verbunden war. Wenn man in Übereinstimmung mit der herrschenden Anschauung unter der festen Kruste eine Mittelzone von flüssigem Magma voraussetzt, so würde vielleicht schon der hydrostatische Druck sinkender Schollen genügen, kleinere, von Senkungsgebieten eingeschlossene Horste oder Krustenteile emporzuheben, wenn die begrenzenden Bruchspalten gegeneinander geneigt sind. Der hydrostatische müßte hierbei von dem tangentialen Druck unterstützt werden, und wir könnten uns ferner auch ganz gut vorstellen, daß der emporgetriebene keilförmige Krustenausschnitt durch den Seitendruck zugleich eine flache, antiklinale Aufwölbung von großer Wellenlänge erführe.

Es hat nicht an Versuchen gefehlt, das Maß der Zusammenschiebung für einzelne gefaltete Gebirge ziffermäßig festzustellen. So hat man berechnet, daß die Scholle des Juragebirges durch die Faltung auf vier Fünftel, die Alpenscholle sogar auf die Hälfte ihrer ursprünglichen Ausdehnung zurückgeführt worden ist, und einen noch stärkeren Zusammenschub nimmt man für das alte Faltengebirge der Gegend von Christiania an. Die weitere Folge der Faltung muß eine Verkleinerung des Erdumfanges und eine Verkürzung des Erdhalbmessers sein, und auch diese können unter denselben Voraussetzungen der Berechnung unterzogen werden. Heim gelangt unter Berücksichtigung der im Meridian der Zentralalpen gelegenen Faltengebirge zu dem Ergebnis, daß deren Bildung mit einer Verkürzung des Erdhalbmessers um etwa 57 km verbunden war. Wenn man die Vorstellung zuläßt, daß das Maß der Faltung auf jedem größten Kreise der Erde ungefähr gleich groß gewesen sein dürfte, so würde die genannte Zahl einen Begriff von der überhaupt stattgehabten Verkürzung des Erdhalbmessers infolge der Schrumpfung der Erde geben. Vielleicht ist diese Zahl zu hoch gegriffen, vielleicht verfügen wir auch heute noch nicht über eine verläßliche Grundlage für derartige Rechnungen, deren Ergebnisse jedenfalls mit großer Vorsicht aufzunehmen sind; aber sie zeigen immerhin, daß die aus der Zusammenziehung der Erde entstehenden Seitenkräfte groß genug sind, die Gebirge der Erde zu schaffen.

Wir dürfen also diese Theorie der Gebirgsbildung, die in neuerer Zeit namentlich von J. Dana, E. Sueß und A. Heim ausgebildet worden ist, in ihrem Grundgedanken als wohlbegründet betrachten, können uns aber nicht verhehlen, daß es noch nicht gelungen ist, alle Einzelerscheinungen zu erklären. Wir sehen gewisse Teile der Erdkruste, wie das Alpensystem, durch die

stete Wiederkehr der Faltung in verschiedenen Perioden bevorzugt, während das Vorland der Alpen nur die geologisch älteren Faltungen mitgemacht, später aber als stauende Masse den alpinen Faltungen Grenzen gesteckt hat. Wir sehen ferner in der unmittelbaren Nachbarschaft der gefalteten Gebiete von West- und Mitteleuropa die uralte, riesige russische Tafel ausgebreitet, die seit der kambrischen Periode in vollkommener Starrheit verblieben ist. Faltengebirge sind, soweit wir es beurteilen können, stets dem Meere entstiegen, nicht aber auf dem Festland erstanden, und es war vorwiegend die paläozoische und die obercretazisch-tertiäre Ära, in der Ketten gestaut wurden, während uns aus der älteren mesozoischen Zeit keine wesentlichen Äußerungen der Gebirgsbildung bekannt sind. Ein aus der Zusammenziehung der Erde entstandener Seitendruck kann aber von vornherein keine bestimmten Richtungen besitzen, es kann ihm auch keine bestimmte Zeit vorgeschrieben sein, und es sollten daher dieser allgemeinen Kraft auch allgemein verbreitete, nicht aber lokale Faltungen und ferner Faltungen in jeder Periode entsprechen.

Wenn wir diese, sich der Zeit und dem Raume nach verschieden äußernde Lokalisierung der Faltung auf eine ursprüngliche Verschiedenheit in der Starre der einzelnen Schollen zurückführen und etwa annehmen, daß die Faltungsgebiete die schwächsten Stellen der Erdrinde vorstellen, so bleiben doch noch andere Schwierigkeiten zu beseitigen.

Man sollte meinen, daß das Vorhandensein eines gewaltigen Seitendruckes in der Erdkruste die vulkanischen Spalten zum Verschluß bringen müßte. In Wirklichkeit aber bestehen diese Spalten; ja, viele von ihnen werden erwiesenermaßen seit langer Zeit zur vulkanischen Förderung benutzt, haben sich also durch ganze geologische Perioden hindurch erhalten. Dieser Widerspruch könnte durch die Voraussetzung eines wiederholten Aufreißens solcher Spalten erklärt werden. Nun gestatten uns zwar viele Beobachtungen an vulkanischen Gängen, diesen Vorgang als sehr wahrscheinlich hinzustellen, und er muß schon deshalb als möglich zugelassen werden, weil die Bruchspalten gewiß als Linien des geringsten Widerstandes zu betrachten sind; aber trotzdem spricht sich hierin eine gewisse Schwäche der Kontraktionstheorie aus. Und so konnte es nicht ausbleiben, daß der unermüdliche Forschungsgeist des Menschen neuen Vorstellungen nachsann und die Beobachtungen nach anderen Gesichtspunkten zu gruppieren suchte, um die Kontraktionslehre zu ersetzen oder zu ergänzen.

So wurde zunächst auf eine andere Quelle für den Seitendruck hingewiesen. Die Schrumpfung sollte nur eine nebensächliche Rolle spielen; die Hauptursache der Faltung ist nach der thermischen, hauptsächlich von R. Mellard-Reade ausgebildeten Theorie der Gebirgsbildung die Volumvermehrung eines Stückes der Erdrinde infolge von Temperaturerhöhung. Diese Lehre knüpft an eine Thatsache an, deren schon im Vorhergehenden gedacht wurde: daß nämlich die gefalteten Ketten zugleich Gebiete überaus großer Schichtenmächtigkeit sind. Dieser auffallenden Erscheinung begegnet man thatsächlich im Himalaja, in den Appalachen, deren Schichtmächtigkeit auf mindestens 10—12,000 m, im nordamerikanischen Felsengebirge, dessen Schichtmächtigkeit auf 18,000 m geschätzt wird, und ebenso ist die enorme Mächtigkeit der alpinen Formationen im Gegensatz zu der schwachen Ausbildung der außeralpinen verbürgt. Viele Anzeichen sprechen dafür, daß diese mächtigen Bildungen teils in seichtem Wasser, teils in sehr tiefem Meere zu stande gekommen sind, ähnlich wie in den heutigen Ozeanen Tiefsee-Sedimente neben Korallenbildungen vorkommen, welch letztere nahe dem Meeresspiegel gedeihen. Eine solche mächtige Aufeinanderfolge von Seichtwasserbildungen konnte nur gebildet werden, wenn in dem Maße, wie die Ablagerung von statten ging, entweder ein Ansteigen des Meeresspiegels oder eine allmähliche Senkung des Meeresbodens eintrat. Viele Forscher halten die erstere Möglichkeit nicht für wahrscheinlich und gelangen daher folgerichtig zu der Annahme, daß wir uns langgestreckte, tiefe Senken als Bildungsraum der gefalteten Ketten vorzustellen haben. J. Dana hat

derartige tiefe Tröge Geosynklinalen genannt. Ihre Ausfüllung mit Sediment mußte notwendigerweise eine Durchwärmung des neu abgelagerten Gesteins zur Folge haben, und zwar muß nach den Erfahrungen über die Verteilung der Wärme in der Erdkruste mit dem Absatz von je 33 m Gestein eine Temperaturerhöhung von 1° C. an der Basis verbunden sein (s. S. 122). Natürlicherweise muß diese Temperaturzunahme eine entsprechende Ausdehnung des Gesteins veranlassen. Da aber die Masse nicht nach den Seiten und nach der Tiefe ausweichen kann, so muß es zu einer Aufwärtsbewegung, zu einem inneren Zusammenschub und Faltung kommen. Aus der Geosynklinale wird nun eine mächtige Aufwölbung, eine Geantiklinale. Da ferner im Gefolge der Faltung auch Bildung von Spalten eintritt und diese mit eruptivem Magma erfüllt werden, so kann auch die damit verbundene Wärmezufuhr zur Erhöhung des Effekts beitragen.

Dies sind in kurzen Zügen die Hauptgedanken der Thermalhypothese. Die Vorgänge, auf die sie sich gründet, müssen ohne Zweifel in Wirklichkeit stattfinden, und der Umstand, daß von der jeweiligen Faltung gerade die Sedimente ergriffen sind, die in der vorhergehenden Periode abgelagert wurden, verleiht dieser Hypothese eine kräftige Stütze. Es fragt sich nur, ob der Einfluß der Durchwärmung auch quantitativ zur Hervorrufung jener gewaltigen Faltungen und Überschiebungen ausreicht, die wir in der Natur beobachten. Man hat dies zwar auf Grund von Rechnung und Versuchen bejaht, und auch die Möglichkeit einer Konzentration der Bewegung auf die schwächsten Stellen der in Thermalfaltung begriffenen Schollen wurde herangezogen, um die Steigerung der Erhebung bis auf das Maß der höchsten Kettengebirge zu erklären; aber eine grundlegende Voraussetzung trifft bei diesen Erwägungen nicht zu. Die Thermalhypothese versetzt nämlich den Eintritt der Wärme- und Volumenzunahme erst in die Zeit nach vollzogener Ablagerung des gefalteten Schichtenverbandes, während sich doch die Temperaturerhöhung unmittelbar nach Beginn der Sedimentation äußern und mit dem Wachstum der Ablagerung allmählich steigern muß. Es wird nun zwar behauptet, daß die Durchwärmung mit der Sedimentation nicht Schritt halten könne; doch ist weder die Annahme einer überaus raschen Gesteinsbildung noch auch die des äußerst langsamen Umsichgreifens der Durchwärmung genügend erwiesen, und selbst wenn dies der Fall wäre, müßte trotzdem mindestens ein Teil der Wärmezufuhr für die Faltung wirkungslos bleiben, weil doch der Beginn der Temperaturerhöhung ohne Zweifel in einer Zeit stattfindet, in der die Ablagerung noch in Fortbildung begriffen und ein seitliches Ausweichen der Teilchen noch möglich ist. Tritt aber der Prozeß in das Stadium, wo wirklich Bewegungen durch Ausdehnung erfolgen, so müssen diese zuerst und vornehmlich die tiefsten Schichten ergreifen, viel später die höheren. Es müßte also ein gradueller Unterschied der Faltung von unten nach oben vorhanden sein, während die in Wirklichkeit beobachteten Erscheinungen keinen Zweifel darüber lassen, daß ein solches Verhältnis nicht besteht, sondern im Gegenteil die gesamten Schichten gleichmäßig, als ein Ganzes, der Faltung unterzogen wurden. Aber noch eine andere grundlegende Voraussetzung der Thermalhypothese trifft nicht durchgehends zu. So wie es gefaltete Gebirge gibt, deren Formationsmächtigkeiten nicht ungewöhnlich sind, wie z. B. die Karpathen, so kennt man anderseits überaus mächtige Schichtenverbände in flacher Lagerung, ohne Spuren von Faltung, wie die auf 4—7000 m geschätzten kohleführenden Gondwána-Schichten in Ostindien. Die Thermalhypothese vermag diese Ausnahmen nicht zu erklären.

Die Schwierigkeiten, welche sich somit aus dieser Hypothese zur Erklärung der Kettengebirgsfaltungen ergaben, suchte man dadurch zu beheben, daß man den Vorgang der Ausdehnung durch Wärme in Schichten auf geneigter Grundlage verlegte. Für die meisten Küstenbildungen sei ja diese Voraussetzung von Natur aus zutreffend; überdies würden die abgesetzten Gesteine durch Thermalausdehnung aufgebläht, und zwar am meisten da, wo sie am mächtigsten seien, also in der Nähe der Küste. Dadurch würde die ursprüngliche Neigung noch vermehrt, und in der nun

noch stärker geneigten Masse müßte ein Abwärtsgleiten und infolgedessen faltiger Zusammenschub eintreten. Auf diese Weise sollen Faltengebirge vom Lande gegen die marine Niederung vorgeschoben werden. Nun kann zwar nicht daran gezweifelt werden, daß lockere Küstenbildungen schlammig-sandiger Natur durch das Abgleiten auf stark geneigter Unterlage eine Stauung erfahren, insbesondere bei stärkeren Erschütterungen durch Erdbeben, die auch durch die Gleitfaltungshypothese in Anspruch genommen werden; ganz unglaubwürdig, ja unmöglich erscheint es dagegen, daß auf diesem Wege jene keilförmigen Einfaltungen harter Gesteine zu stande gekommen sein sollten, wie wir sie z. B. vom Nordrande des Finsteraarhornmassivs kennen gelernt haben, oder die großen Überschiebungen, die im Vorhergehenden beschrieben wurden.

Aus den oben angeführten Gründen ist es unwahrscheinlich, daß gefaltete Kettengebirge infolge von Ausdehnung durch Wärme entstanden seien; wohl aber können wir uns, vorausgesetzt, daß die quantitative Bedeutung dieses Vorganges als hinlänglich angesehen wird, vorstellen, daß auf diesem Wege Schichtmassen als Ganzes gehoben oder flache antiklinale Aufwölbungen zu oberst, bei stärkeren Stauungen in den tieferen Schichten gebildet wurden. Diese Betrachtungsweise hat in der That in neuerer Zeit viel Anklang gefunden, und es wurde ferner darauf hingewiesen, daß auch die Erniedrigung der Temperatur einzelner Krustenteile in ähnlicher Weise zu örtlichen Bewegungen in der Lithosphäre führen müsse.

Solche Erniedrigungen können eintreten, wenn sich z. B. eine mächtige Eisdecke über ein Stück der Erdkruste ausbreitet, wie dies in der Diluvialperiode durch die gewaltige Ausdehnung der polaren Eiskalotten geschehen ist. Die Geo-Isothermen der eisbedeckten Gebiete müssen sich senken, die Gesteine sich zusammenziehen, die Kruste muß nachsinken. Umgekehrt muß das Abschmelzen der Eisdecke ein Ansteigen der Geo-Isothermen, Durchwärmung und daher auch Ausdehnung und Hebung des vordem vereisten Gebietes nach sich ziehen. Wird ein Gebirge durch Abwaschung erniedrigt oder durch Abrasion[1] gänzlich eingeebnet, so wird sich dasselbe Niedergehen der Geo-Isothermen einstellen müssen, wie in einem vereisten Lande, und es wird also nach dieser Vorstellung die Entlastung eines Kontinentes durch Abwaschung und Abfuhr von Gestein zur Senkung seiner Oberfläche führen müssen.

Zu einem ganz entgegengesetzten Ergebnis gelangen in dieser Beziehung die Anhänger einer Gruppe von Hypothesen, die in der Annahme eines Gleichgewichtszustandes in der Erdkruste übereinstimmen. Stärkere Belastung durch neugebildete Ablagerungen muß unter dieser Voraussetzung zu lokalen Senkungen, Entlastung aber zu Hebungen führen. Die Ausdehnung durch Wärme wirkt also dem Sinken durch stärkere Belastung entgegen und umgekehrt. Beiderlei Vorgänge brauchen einander natürlich nicht auszuschließen; das Endresultat wird von dem Überwiegen des einen oder des anderen Faktors abhängen. Auf die polare Eisbedeckung angewendet führt aber die Gleichgewichtshypothese zu demselben Ergebnis wie die Thermalhypothese; die Senkung infolge von Temperaturerniedrigung unter der Eisdecke wird vermehrt durch das auflastende Gewicht der Eismasse, und desgleichen die Hebung beim Abschmelzen des Eises durch die Entfernung der Eisbelastung.

Eine sehr bemerkenswerte Abänderung der Gleichgewichtshypothese ist in neuerer Zeit von Ch. Dutton aufgestellt worden. Den Ausgangspunkt bilden wichtige Erfahrungen, die man über die Massenkompensation der Erdkruste gemacht hat. Wir haben in einem vorhergehenden Abschnitt (S. 114, 131) gesehen, daß die Anziehung oder Schwerewirkung der Kontinentalmassen durch eine Verminderung der Dichte ausgeglichen wird, während unter dem Meeresboden eine

[1] Unter „Abrasion" versteht man die Abhobelung ganzer Landstriche durch die Einwirkung der Brandungswellen eines gegen das Land vordringenden Meeres.

Verdichtung der Erdkruste stattfinden muß. Durch diese Kompensation der Massenverteilung wird ein Gleichgewichtszustand in der Erdkruste herbeigeführt, den Dutton als „Isostasie" bezeichnet. Überall, wo Sedimente abgelagert oder Gebirge abgetragen werden, erfährt der isostatische Gleichgewichtszustand eine Störung. Die Erdkruste zeigt das Bestreben, solchen Störungen durch Annahme einer neuen isostatischen Lage zu begegnen. Vermöge der geringen Elastizität und der großen Starrheit der Erdkruste wird dies erst gelingen, wenn die isostatischen Kräfte eine so bedeutende Verstärkung erfahren haben, daß ihre Intensität genügt, durch Überwindung der Erdstarre Bewegungen zu veranlassen und das Gleichgewicht herzustellen. Nimmt man z. B. an, daß sich an einer langen und schmalen Küstenzone durch geologische Perioden hindurch Sedimente ansammeln, so gibt deren Mächtigkeit ein Maß für die Intensität der aufgestapelten Kraft; ebenso ist die Größe der Abtragung auf dem benachbarten Festland maßgebend für die statische Kraft, die sich hier, jedoch in entgegengesetztem Sinne, geltend macht. Zur Zeit, wo diese statischen Kräfte durch allmähliche Summierung größer werden als der Widerstand der Starre in der Erdkruste, muß eine Massenbewegung zur Herstellung des isostatischen Gleichgewichtes eingeleitet werden. Die Richtung der Bewegung hängt natürlich von der Verteilung des Widerstandes ab; wo dieser am geringsten ist, dahin wird sich die Bewegung lenken müssen. Da nun das benachbarte Festland infolge seiner Entlastung eine isostatische Bewegung nach aufwärts ausführt, so tritt der geringste Widerstand in der Richtung nach dem Lande zu auf, und es muß sich so die Tendenz zu einer horizontalen Bewegung des mit Gesteinen beladenen Seebodens gegen den entlasteten Kontinent entwickeln. Dieses Andrängen der Küstenablagerungen gegen das Festland soll nun nach Ch. Dutton mit einer Stärke erfolgen, die genügt, langgestreckte und mächtige Faltungen zu erzeugen, die dem Gebirgszug am Rande des Festlandes parallel verlaufen müssen.

Zwischen der isostatischen und der thermalen Hypothese besteht insofern eine Art Verwandtschaft, als für beide eine große Mächtigkeit der Ablagerungen Voraussetzung der Faltung ist, und die Thatsache, daß sich die Faltung unmittelbar nach Ablagerung der Schichtreihen vollzieht, zu gunsten beider Hypothesen angerufen werden kann. Da zufolge der Duttonschen Hypothese eine einmal bestehende Kette die Angliederung neuer, jüngerer Ketten in parallelen Zonen nach sich ziehen muß und wir ein solches Verhältnis in den geologisch jungen Kettengebirgen als wirklich bestehend erkannt haben, so spricht auch dies für die isostatischen Faltungsbewegungen. Wie man sieht, werden also gerade jene merkwürdigen Thatsachen, die der Kontraktionstheorie Schwierigkeiten bereiten, durch Duttons geistvolle Hypothese in befriedigender Weise erklärt; bei näherer Betrachtung aber erweist sich leider auch diese Lehre als unzulänglich, zum Teil aus denselben Gründen, die auch gegen die Thermalhypothese eingewendet werden. Wir kennen, wie schon erwähnt, mächtige Schichtfolgen, die nicht gefaltet sind, und wissen, daß auch umgekehrt Ablagerungen von durchschnittlicher Mächtigkeit gefaltet wurden. Wir wissen ferner, daß in der Epoche der Oberkreide und in tertiärer Zeit wiederholt Faltungen stattgefunden haben. Die Mächtigkeit der zwischen je zwei dieser Faltungsperioden abgelagerten Gesteine ist viel geringer als die Mächtigkeit der konkordanten Sedimentreihe von der Permformation bis an die Basis der Oberkreide. Wenn also die geringe Mächtigkeit der geologisch jüngeren Sedimente der Oberkreide und der Tertiärstufen genügt hat, isostatische Faltungen hervorzurufen, so ist kein Grund vorhanden, weshalb in der mesozoischen Ära zu demselben Zwecke eine vielmal gewaltigere Anhäufung von Gesteinen notwendig gewesen wäre; es bliebe also nur die Annahme, daß die Faltungsbewegungen in den ältesten Schichten dieser mächtigen Reihe schon begonnen haben müßten, während die jüngeren noch in Fortbildung begriffen waren. Ein hierdurch bedingtes abweichendes Verhalten der Falten in den älteren und den jüngeren Schichten ist aber, wie schon erwähnt wurde, nicht zu beobachten. Die Duttonsche Hypothese ist an die Verhältnisse der Sierra Nevada und über-

haupt des ganzen mächtigen Kettengebirgszuges im westlichen Amerika trefflich angepaßt, und sie könnte auch auf die Flysch- und die Molassezone der Alpen übertragen werden; dagegen läßt sie uns im Stiche, wenn wir sie auf die Falten der mesozoischen Gesteine der Alpen anwenden wollen. Während der oberjurassischen Zeit war das ganze Alpengebiet vom Meer überzogen, und auch in den übrigen Perioden der mesozoischen Ära konnte die Zentralkette der Alpen, obwohl schon angelegt, doch nur in Form untergeordneter Inseln aus dem Meer aufragen. Ein größeres Festland, eine Gebirgskette, die durch Erosion und Entlastung aufsteigen und die Faltung im Sinne Duttons hätte anregen können, bestand also nicht, und doch sehen wir diese mesozoischen Ablagerungen in der ausgezeichnetsten Weise gefaltet.

Von anderer Seite wurden die Vorgänge der Gebirgsbildung mit der Anziehungskraft der Gestirne in Zusammenhang gebracht. Diese ruft eine Flutwelle hervor, die täglich die Erde umkreist und der Rotation entgegenwirkt. Äußerst geringfügig in der Gegenwart, könnte sich dieser Einfluß erheblich steigern, wenn durch eine Änderung der Exzentrizität der Erdbahn die Wirkung der Sonne vergrößert würde. Die Rotation der Erde würde dadurch verzögert und die Zentrifugalkraft vermindert werden. Als weitere Folge müßte nicht nur eine Bewegung des ozeanischen Wassers vom Äquator gegen die Pole eintreten, sondern es müßte sich auch in der festen Erdkruste ein gegen die Pole gerichteter Zug geltend machen, dem die Faltung, Spaltenbildung und andere tektonische Vorgänge zugeschrieben werden. Wir können hier auf die Einzelheiten dieser Hypothese nicht näher eingehen, sondern bemerken nur, daß sie bloß dann richtig sein könnte, wenn in allen Faltungsgebieten ein Schub vom Äquator gegen die Pole nachgewiesen wäre. Meridional gerichtete Gebirgsketten, wie die auf dem amerikanischen Kontinent, widerstreiten auf das entschiedenste dieser Hypothese.

Wenn wir nun einen kurzen Rückblick auf die besprochenen Lehren werfen, so drängt sich uns wohl die Überzeugung auf, daß sie das schwierige und vielfach rätselhafte Problem der Gebirgsbildung von neuen Seiten beleuchten, und daß sie gerade an die Thatsachen, bezüglich deren uns die Schrumpfungstheorie unbefriedigt läßt, mit Erfolg anknüpfen. Die neueren Hypothesen, besonders die thermale und die statische, können zweifellos das Verdienst für sich in Anspruch nehmen, gezeigt zu haben, wie vielerlei dynamische Vorgänge in der Erdkruste bald einander entgegenwirken, bald sich gegenseitig verstärken, und auf welche Weise Hebungen und Senkungen von Kontinentalmassen zu stande kommen können. Wohl müssen wir annehmen, daß bei der Bildung der Faltengebirge neben der Schrumpfung noch andere Vorgänge mitspielen, und daß die Verhältnisse verwickelter sind, als die Kontraktionslehre bisher angenommen hat; aber trotzdem stellt diese Theorie eine Erklärung der Gebirgsbildung auf, die der Gesamtheit der Erscheinungen am besten gerecht wird, und namentlich dadurch einen hohen Grad von innerer Wahrscheinlichkeit gewinnt, daß sie nicht nur die Gebirgsbildung, sondern auch die seismischen und vulkanischen Vorgänge auf eine gemeinsame Grundursache, die fortschreitende Abkühlung und Schrumpfung der Erde, zurückführt.

Fortdauer der Gebirgsbildung.

Wenn uns aus allen früheren Perioden Spuren mächtiger Veränderungen in der Lagerung der Erdmassen entgegentreten, so drängt sich von selbst die Frage auf, ob auch jetzt noch die Kräfte thätig sind, die in der Vorzeit unsere Gebirge aufgetürmt haben. Allerdings sind uns keine historischen Nachrichten über ein derartiges Ereignis überliefert, keine Gebirgskette ist in nachtertiärer Zeit entstanden; aber es wäre doch sehr unvorsichtig, daraus den bestimmten

Schluß ziehen zu wollen, daß jene Massenbewegungen zeitweilig oder endgültig aufgehört haben. Von einzelnen Kesselbrüchen, z. B. von dem des Südägeischen Meeres, können wir sogar mit Sicherheit behaupten, daß ihre Entstehung, wenigstens zum großen Teil, nach Schluß der Tertiärformation während der Diluvialzeit stattgefunden hat. Was die Faltenbildung und Aufrichtung der Schichten anlangt, so wissen wir nicht, ob sie nicht noch im Fortgang begriffen ist; es handelt sich ja auch hier um langsam fortschreitende Bewegungen, deren Wirkungen nicht in kurzer Zeit auffallend hervortreten, die sich aber vielleicht verfolgen ließen, wenn man in zahlreichen Gebieten mit großartigen Mitteln etwa alle 100 Jahre eigens hierzu bestimmte Präzisionsnivellements vornähme. Bis jetzt liegen in dieser Beziehung nur vereinzelte Angaben vor. So wurde berichtet, daß sich nach trigonometrischen Messungen in der Zeit von etwas über 30 Jahren die Lägern dem Rigi und Napf um einen Meter genähert habe. Nach neueren Meldungen soll dies aber nur auf die Unrichtigkeit der älteren Messung zurückzuführen sein. Auch kann man nicht mit voller Bestimmtheit behaupten, daß sich in nachdiluvialen Ablagerungen nirgends Spuren von Aufrichtung finden. Man bemerkt in jenen losen angeschwemmten Massen sehr häufig Störungen, die man lokalen Rutschungen und Gleitungserscheinungen zuzuschreiben pflegt, und die auch sicher zum größten Teil auf diese Ursache zurückzuführen sind; es ist aber auch nicht der Schatten eines Beweises dafür vorhanden, daß dies allgemein der Fall ist, und manche von ihnen mögen sehr wohl einer fortwirkenden Thätigkeit der gebirgsbildenden Kräfte zuzuschreiben sein. Sehr wahrscheinlich ist dies wenigstens für die großen stufenförmigen Brüche in den Ablagerungen des diluvialen Bonneville-Sees im Great Basin, da diese gerade dort auftreten, wo das Wahsatch-Gebirge vom Great Basin durch einen mächtigen Längsbruch getrennt ist. Sehr gut bekannt sind die Verwerfungen im Diluvium der Insel Rügen, die nicht nur das Diluvium selbst, sondern auch die darunter liegende Kreide betroffen haben.

Das Vorhandensein einer horizontalen Spannung, die allmählich zu tektonischen Bewegungen führen muß, wird durch eigentümliche Erfahrungen bewiesen, die in Steinbrüchen gemacht worden sind. In Amerika hat man beobachtet, daß große Platten, wenn sie aus dem Schichtverbande gebrochen werden, eine Ausdehnung erleiden, so daß sie dann etwas länger sind als die Lücke im Gestein, die durch ihre Herausnahme erzeugt wurde. Dasselbe soll auch in den Granitbrüchen von Mauthausen in Oberösterreich der Fall sein. In der Nähe von Chicago wurde in den dortigen Silurablagerungen durch einen Steinbruch eine tief liegende Schicht bloßgelegt, die sich alsbald nach ihrer Bloßlegung auf einer Strecke von 800 Fuß zu einer flachen, etwa 6 Zoll hohen Falte von einem Querdurchmesser von 18 Fuß ausdehnte und im Scheitel durch einen Längssprung riß. In diese Gruppe von Erscheinungen dürfte auch die merkwürdige sattelförmige Aufwölbung des Felsbodens in Wisconsin gehören, über die Carter berichtet hat.

Zu diesen Anhaltspunkten gesellen sich andere Erfahrungen von Wichtigkeit. Schon früher wurde hervorgehoben, daß Erdbeben und Vulkane in ihrem Auftreten sehr merkwürdige Beziehungen zu dem Verlauf der Gebirge zeigen, und wenn wir diesen Gegenstand etwas näher verfolgen, so gelangen wir zu unzweideutigen Spuren noch fortdauernder Veränderungen. Schon die flüchtige Betrachtung der Verbreitung der heftigsten Erdbeben und der großartigsten vulkanischen Erscheinungen läßt den innigen Zusammenhang beider mit den Vorgängen der Gebirgsbildung erkennen; sie ist wesentlich an die Gebirgsketten und Senkungsfelder gebunden, wie das schon früher (S. 321) erwähnt wurde. Diese einfache und fundamentale Thatsache führt uns auf den richtigen Weg. Es wird niemand daran zweifeln, daß die Spalten und Sprünge unter der Wirkung einer gewaltigen, die Gesteine zerreißenden Kraft entstehen, daß das Absinken oder die Horizontalverschiebung der Massen an diesen Brüchen, daß die Faltung und Aufrichtung der Gesteine mit einer Erschütterung des Bodens verbunden sein müssen. Mag auch der Verlauf aller

dieser Erscheinungen ein sehr langsamer sein, so werden doch die Bewegungen nicht in absoluter Gleichmäßigkeit und ganz allmählich eintreten ohne irgend bemerkbare Erzitterung des Bodens. Im Gegenteil wird immer einige Zeit hindurch Ruhe herrschen; es wird sich eine gewisse Spannung ansammeln, bis die Reibungshindernisse, die momentan der weiteren Bewegung entgegenstehen, überwunden werden. Es werden also alle diese Massenverschiebungen ruckweise vor sich gehen und als die uns fühlbaren Spuren ihrer Thätigkeit Erdbeben erzeugen; ja, es ist sehr wohl möglich, daß unter Umständen weit heftigere Erschütterungen eintreten, als diejenigen sind, von denen wir aus der kurzen Spanne der historischen Zeit wissen.

Es kann sich hierbei selbstverständlich nicht um jene Art von Erdbeben handeln, die oben (S. 320) als Explosions- und als Auslaugungsbeben bezeichnet wurden, sondern es kommt nur die sehr große Gruppe der sogenannten tektonischen Erschütterungen in Frage, und wir werden bei der näheren Verfolgung des Gegenstandes die vollste Bestätigung der Ansicht erhalten, daß jene tektonischen Erschütterungen die einzelnen Zuckungen der fortschreitenden Gebirgsbildung darstellen. In mehreren Fällen ist es nämlich gelungen, Erdbeben auf bestimmte Bruchlinien zurückzuführen, ja es haben sich solche Bruchlinien, wie im Vorhergehenden beschrieben wurde, unter den Augen der Menschen gebildet.

Ähnlich verhält es sich mit den Vulkanen. Wir haben gesehen, daß deren Entstehung und Thätigkeit nur durch das Fortwähren eines enorm hohen Druckes erklärt werden kann, der vermutlich durch sinkende Schollen ausgeübt wird, jedenfalls aber mit der fortschreitenden Abkühlung des Erdkernes und den dadurch bedingten Bewegungen in der Erdkruste in Beziehung steht. Es ist also die Bildung von Feuerbergen und deren Eruption ein Vorgang, der uns ebenfalls von der fortdauernden Wirkung der gebirgsbildenden Kräfte Kunde gibt.

Erdbeben und deren Zusammenhang mit dem Gebirgsbau.

Wenn Erdbeben und Vulkane die einzelnen Zuckungen der langsam fortschreitenden Gebirgsbildung fühlbar machen, so dürfen wir hoffen, daß ein näheres Studium des Zusammenhanges dieser Erscheinungen uns manchen wichtigen Einblick in ihr Wesen gewähren wird. Wir wollen diese zuerst von E. Sueß in ihrer vollen Bedeutung erkannten Beziehungen an einigen Beispielen kennen lernen.

Niederösterreich ist ziemlich häufig von Erdbeben heimgesucht, die allerdings in der Regel schwach sind und nur in vereinzelten Fällen, namentlich im Jahre 1590, einen bedrohlichen Charakter angenommen haben. Verfolgt man die Ausbreitung ihrer „Schüttergebiete", so findet man, daß diese immer in einer auf das Streichen der Alpen annähernd senkrechten Richtung, also ungefähr von Süden gegen Norden, verlängert sind, daß ganz bestimmte Linien am häufigsten heimgesucht werden, und daß diese Linien zu Erscheinungen des Gebirgsbaues in inniger Beziehung stehen. Wie wir oben gesehen haben, sind bei Wien die Alpen in ihrer Fortsetzung gegen Osten durch einen Kesselbruch abgeschnitten, dessen Westgrenze durch eine Bruchlinie, den Rand des Wiener Beckens von Wien bis Gloggnitz, bezeichnet ist. Längs dieser Bruchlinie treten bei Meidling, Baden, Vöslau ꝛc. warme Quellen auf, und eine beträchtliche Anzahl von Erdbeben wird angeführt, die an dieser Spalte gefühlt wurden; es sind dies die Stöße auf der Wiener „Thermenlinie".

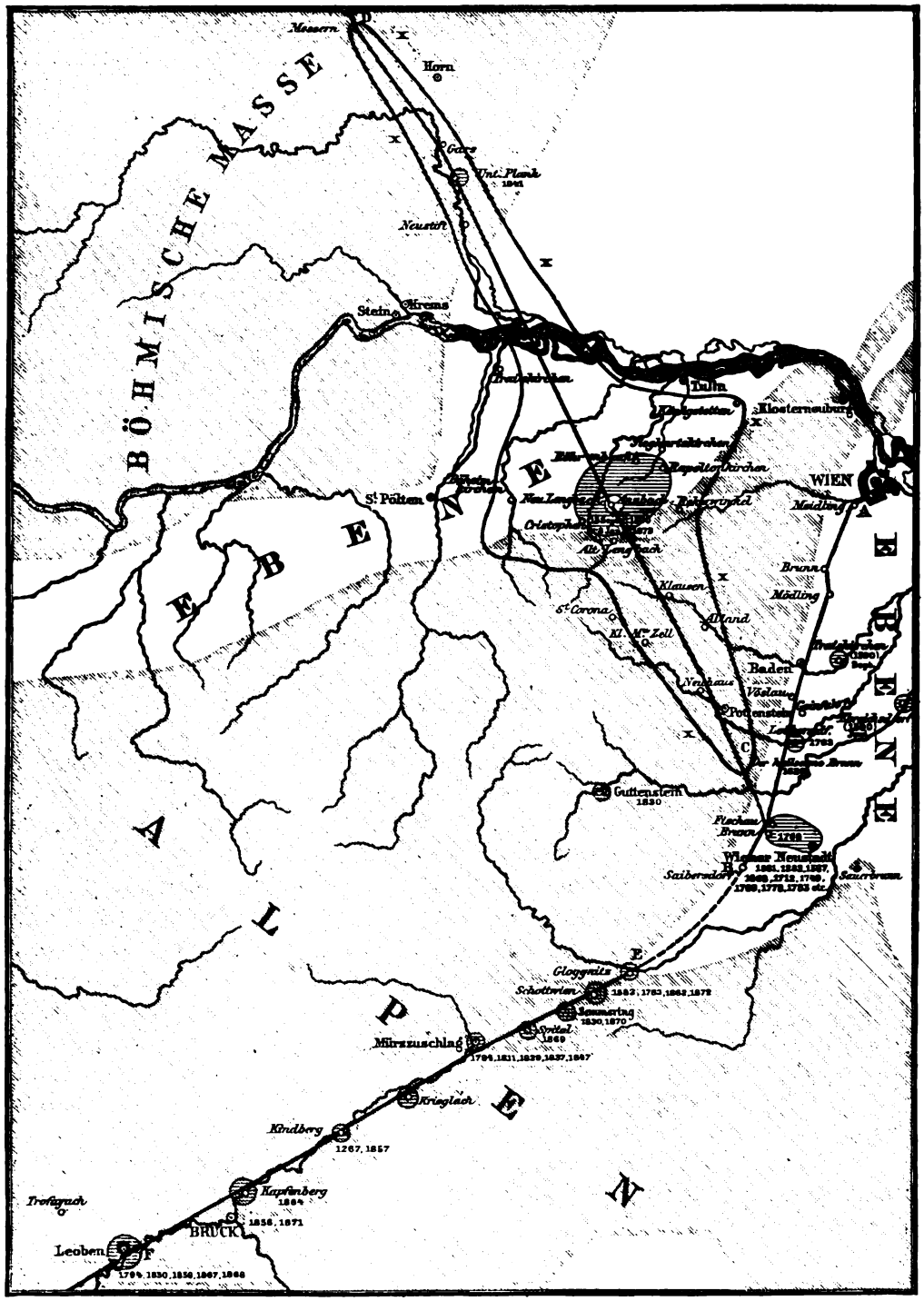
Noch häufiger sind Erschütterungen auf einer zweiten benachbarten Linie, die als die „Kamplinie" bezeichnet wird. Sie beginnt am Rande des Wiener Senkungsfeldes in der Nähe von Wiener-Neustadt und wendet sich von da gegen Nordnordwesten in das Gebirge hinein. Sie

schneidet die Kalkalpen, die Flyschzone und die subalpine Ebene, und die Stöße, die von dieser Linie ausgehen, pflanzen sich in derselben Richtung noch weit in die böhmische Masse fort, wo sie anfangs dem Thale des Kampflusses folgen. Die Fortsetzung dieser Erschütterungen gegen Norden reicht oft sehr weit; einzelne sind bis nach Dresden fühlbar geworden. Die heftigsten Stöße finden dort statt, wo die Linie aus den Alpen heraustritt, entweder am Nordrand der alpinen Sandsteinzone, in der Nähe von Altlengbach, oder im Süden, wo sie den Kesselbruch erreicht und die Thermenlinie berührt, in der Nähe von Wiener-Neustadt.

Auf der Karte S. 391, die die Hauptschütterlinien Niederösterreichs sowie die Grenzen der Alpen, der Ebene und der böhmischen Masse angibt, ist auch die Verbreitung der heftigen Erschütterung bei dem Erdbeben vom 3. Januar 1873, eines eminent charakteristischen Stoßes auf der Kamplinie, eingezeichnet. Das Zentrum, in welchem auch Beschädigungen von Gebäuden vorkamen, lag diesmal, wie schon mehrfach früher, am Austrittspunkt der Kamplinie aus den Alpen in die Ebene, bei Altlengbach, von wo sich die Erschütterung in geradliniger Verlängerung ins Gebiet der böhmischen Masse nach Nordnordwesten und bis fast an den Rand des Wiener Kesselbruches nach Südsüdosten fortsetzte. Neben dieser Hauptrichtung fällt uns aber noch eine zweite auf, die senkrecht zu jener steht und dem Verbreitungsgebiet des Erdbebens die Form eines Kreuzes gibt. Da nämlich, wo die Stoßlinie aus den Alpen in die Ebene hinaustritt, breitet sich das Schüttergebiet am Alpenrand aus; es scheint, als hätten die losen Massen der Ebene der Querfortpflanzung des Stoßes weniger Widerstand entgegengestellt als das feste Gestein des Gebirges oder der böhmischen Masse.

Wir wollen nicht weiter auf die Besprechung einzelner Bewegungen an der Kamplinie eingehen; das eine Beispiel wird genügen, den ausgezeichnet linearen Charakter hervorzuheben. Für uns ist insbesondere die Frage von Wichtigkeit, in welchem Zusammenhang diese Erscheinungen mit dem Gebirgsbau stehen. Durch die erfolgreichen Untersuchungen von Bittner in Niederösterreich ist nicht nur die Kamplinie als eine zum Streichen des Gebirges querverlaufende Bruchlinie sichergestellt, sondern auch nachgewiesen, daß zur Kamplinie parallele Dislokationen in diesem Gebiet eine große Rolle spielen und an vielen Stellen bis an die Thermenlinie hinausgehen; nach Bittner ist nicht zu verkennen, „daß die bedeutendsten Warmquellen gerade an jenen Stellen liegen, an welchen die Thermallinie von den nordwestlich verlaufenden Transversalstörungen getroffen wird". Danach könnten wohl auch die Stöße auf der „Wiener Thermallinie" mit diesen Querbrüchen in Verbindung stehen. Westlich von der Kamplinie nimmt die Bebenlinie von Scheibbs in Niederösterreich dieselbe Stellung quer zum Gebirgsstreichen ein, und auch ihre Stöße dringen tief in die böhmische Masse ein.

Ähnliche Verhältnisse wie in den nordöstlichen Alpen kehren vielfach wieder. In den Karpathen wiederholte das Erdbeben von Sillein im oberen Waagthal, das am 15. Januar 1858 stattfand, fast genau die Erscheinungen, die wir an den Stößen der Kamplinie kennen gelernt haben. Es ist ein karpathisches Querbeben, das aber ebenfalls weit über den Bereich dieses Gebirges hinauswirkte und sich in der Richtung des Stoßes bis nördlich von Breslau fühlbar machte. In den Südalpen bewegte sich das Beben von Belluno im Jahre 1873 auf einer zum Schichtstreichen quer verlaufenden Dislokationslinie, und der furchtbare Erdbebenschwarm, der Phokis im Jahre 1870 verwüstete, entspricht aller Wahrscheinlichkeit nach ebenfalls einem großen Querbruch, der vom Nordrand der ätolischen Seen bis an die Bucht von Delphi zu verfolgen ist; hier endet der Bruch an dem Senkungsfelde des Golfes von Korinth, und hier trat im Jahre 1870 die heftigste Erschütterung ein. Als ein typisches Beispiel eines Quer- oder Blattbebens verdient das andalusische Beben hervorgehoben zu werden. Französische Forscher haben gezeigt, daß die bätische Faltenkette durch drei Querbrüche in einzelne selbständige Stücke zerlegt wird, die Sierra



Die Erdbeben Niederösterreichs. A B) Thermenlinie, C D) Kamplinie, E F) Mürzlinie, x x x) Grenze des Hauptschütter-gebietes vom 3. Januar 1873. Vgl. Text, S. 390 und 392.

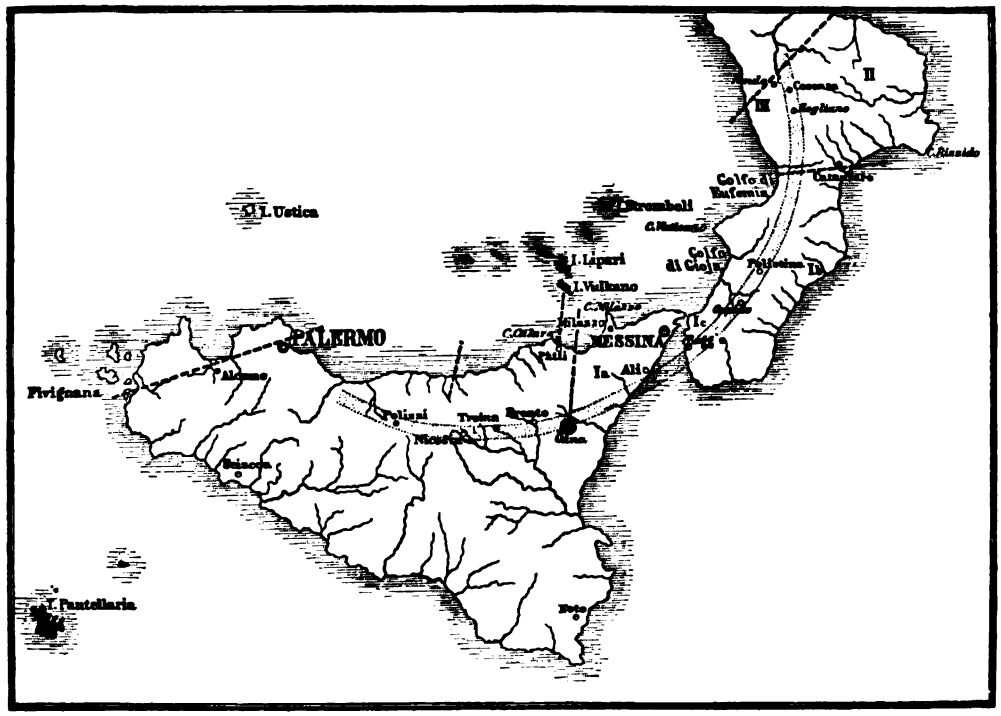
de Ronda, Sierra Tejada, Sierra Nevada und Sierra de Baza. Verlängert man diese Blattlinien über beide Seiten der bätischen Kette, so trifft die Linie von Guadix das vulkanische Massiv von Cabo de Gata, jene von Malaga die vulkanische Insel Alborán, jene von Motril aber schneidet das Epizentrum des Bebens vom 25. Dezember 1884. Zu den Blattbeben muß auch das durch die merkwürdige Neospalte verursachte japanische Beben von 1891 (s. Abbildung, S. 321) gezählt werden, denn die genannte Spalte verläuft, wenn auch unter spitzem Winkel, quer zum Streichen des Gebirges.

Etwas seltener als Querbeben, oder vielleicht nur schwieriger nachweisbar, scheinen Erschütterungen zu sein, die sich längs der Störungslinien im Streichen der Gebirge bewegen und allgemein als Longitudinalbeben oder als Wechselbeben im Sinne der Sueßschen Terminologie bezeichnet werden. Hierzu dürfen wir das belgische Erdbeben vom 23. Februar 1828 rechnen, denn es war durch große Ausdehnung bei mäßiger Intensität und namentlich durch genaues Einhalten des Streichens des Kohlengebirges ausgezeichnet; es nahm seinen Ausgang von der Faille du Midi. Das verheerende Beben von Wernoje wird auf Längsbrüche zwischen Granit und kristallinischen Schiefern im Hinterilischen Alatau zurückgeführt; es ist aber nicht gänzlich ausgeschlossen, daß sich während der zweijährigen Periode dieses Bebens auch auf Querspalten Bewegungen vollzogen haben. In klarer Weise gibt sich das kalifornische Beben von 1872 als Longitudinalbeben zu erkennen: es folgte vom mittleren bis tief in das südliche Kalifornien dem westlichen Abbruch der Sierra und trat längs dieser ungefähr 450 km langen Zone fast gleichzeitig auf. Die große Verwerfung war 60 km weit verfolgbar; ihr östlicher Flügel war während des Bebens strichweise um 2—6 m gesunken. Die Erdbeben auf der Mürzlinie (s. Karte, S. 391), die Schweizer Beben am Südfuß des Juragebirges und in der Zone des Vorderrheinthals und des oberen Rhônethals, manche der weithin am Fuße der Anden Südamerikas auftretenden Erschütterungen und manche japanische Beben gehören in diese Gruppe.

Alle die bisher genannten tektonischen Erdbeben, die Blatt- und Wechselbeben, sind verursacht durch die Auslösung tangentialer Spannungen in der Erdkruste. Ein wesentlich anderes Bild gewähren die Erschütterungen, die mit vertikalen Bewegungen großer und kleiner Schollen der Erdrinde zusammenhängen. Am Rande und in der Mitte solcher Senkungsfelder siedeln sich, wie wir wissen, nicht selten Vulkane an. „Hier nun entsteht", wie E. Sueß ausführt, „die Frage, wo die Grenze zwischen Dislokationsbeben und vulkanischen Beben zu ziehen sei, eine Frage, welche im abstrakten Sinne sehr leicht zu lösen ist, indem man die explosiven Erscheinungen als bezeichnend für die vulkanischen Beben festhält. In der Natur aber zieht sich diese Grenze nicht so leicht; der Vorgang der Eruption zerfällt in eine Reihe von Abschnitten, in welchen die Bewegungen einander nicht gleichen, und es erscheinen Beben auf einer längeren Linie, welche man leicht für Dislokationsbeben halten möchte, die aber doch nur eine Phase des Ausbruchs bezeichnen."

Umgekehrt besteht aber auch die Gefahr, daß wirkliche Dislokationsbeben derartiger Gebiete für vulkanisch angesehen werden. Nicht in allen gleichzeitig seismisch wie vulkanisch lebendigen Schollen besteht eine so deutliche Trennung der Erscheinungen wie in Japan, wo die Einbrüche der Innenseite mit Vulkanen besetzt sind, die seismischen Bewegungen sich aber hauptsächlich auf der gefalteten Außenseite der Inseln abspielen. Wir wollen die Verhältnisse auf den Senkungsgebieten zunächst an der Hand der von Sueß beschriebenen Verhältnisse Süditaliens kennen zu lernen suchen. Als ein großes Senkungsfeld stellt sich das halbkreisförmige Meeresbecken zwischen dem Westrand der Kalabrischen Halbinsel und der Nordküste von Sizilien dar, von dem aus eine Anzahl von kleinen Kesselbrüchen in das Festland eingreift. Uralte Gneise und Granite bilden zum großen Teil die Umrahmung, Reste eines Gebirges, dessen übrige Teile ins Meer gesunken

sind. In der nordöstlichen Ecke von Sizilien liegt die alte Masse des Peloritanischen Gebirges, jenseits der Straße von Messina folgt dann in Kalabrien das alte Gebirge der Scylla, der Aspromonte mit dem Vatikanischen Vorgebirge, noch weiter nach Norden die Masse des Monte Cocuzzo und die Sila, wie es die untenstehende Kartenskizze angibt. Auch innerhalb dieser Gebirge zeigen sich Störungen, welche der Küste parallel laufen. So erscheint der Cocuzzo gegen die Sila, das Vatikanische Vorgebirge gegen den Aspromonte abgesunken. Im Zentrum des Halbkreises ragen aus dem Meere die Liparischen Inseln hervor, Vulkane, die, wie wir oben gesehen haben, auf drei von einem Zentrum ausstrahlenden Spaltenlinien angeordnet sind (s. S. 190).



Die Erdbeben Unteritaliens. (Nach E. Sueß.) Ia) Peloritanisches Gebirge, Ib und c) Aspromonte und Scylla, II) Sila, III) Cocuzzo.

Betrachten wir die einzelnen Bewegungen in dieser Region. Da haben wir zunächst das große kalabrische Erdbeben von 1783, das sich dadurch auszeichnet, daß in seinem mehrmonatigen Verlauf bei den einzelnen Stößen Maximum und Ausgangspunkt nicht immer an derselben Stelle blieben; die Stoßpunkte „wanderten", sie traten bald hier, bald dort an einer Linie auf, die dem Bruchrand des Aspromonte entspricht. Im Jahre 1783 blieben die Erschütterungen auf diesen Strich beschränkt, der indessen nur ein Stück einer großen, häufig von Erdbeben heimgesuchten Bogenlinie bildet; diese beginnt im Norden mit der einem Bruch entsprechenden Einsenkung zwischen Sila und Cocuzzo, dann folgt der Bruchrand des Aspromonte, von wo die Fortsetzung über die Straße von Messina nach Sizilien greift und südlich vom Peloritanischen Gebirge den Ätna erreicht. Weiterhin stellen wahrscheinlich die häufig von Stößen heimgesuchten Orte Bronte und Nicosia eine Verlängerung dar, die dann das Madoniengebirge östlich von Palermo trifft. Es ist hier also eine Reihe von häufig erschütterten Stoßpunkten zu einem Bogen angeordnet und um das Zentrum der Liparischen Inseln als Mittelpunkt gelagert. Auf ihr bewegen sich die „peripherischen Stöße" des Senkungsfeldes, und es ist

wahrscheinlich, daß im Verlauf vieler Hunderttausende von Jahren die auf der Innenseite dieser Linie gelegenen Gebirgsteile ins Meer sinken werden. Neben diesen Erscheinungen zeigen sich aber noch andere: Vom Liparen-Zentrum gehen drei durch Vulkanreihen bezeichnete Spalten aus; die eine, deren Verfolgung im offenen Meere nicht möglich ist, ist nach Westen gerichtet, auf einer zweiten liegen Lipari, Vulcano und Vulcanello, und wo ihre Verlängerung die peripherische Schütterlinie trifft, steht auf der Kreuzungsstelle der Ätna. Erdbeben aus der Richtung der Liparen werden an dieser Linie häufig beobachtet. Die dritte Vulkanspalte der Liparen, die, gegen Nordosten gerichtet, den Stromboli trägt, macht sich auf dem kalabrischen Festland durch nordöstliche Radialstöße bemerkbar, die namentlich in der Niederung zwischen Sila und Cocuzzo, in der Gegend von Cosenza, besondere Heftigkeit entwickeln und häufig von gesteigerter vulkanischer Thätigkeit der Liparen begleitet sind. Auch lassen sich noch einige weitere Radiallinien ähnlicher Art verfolgen.

Das Ergebnis seiner Untersuchungen hat Sueß in folgenden Worten zusammengefaßt: „Das große kalabrische Beben von 1783, welches auf einer peripherischen Randlinie die Stoßpunkte hin und her treten ließ, ist ein Dislokationsbeben und mag als ein peripherisches Senkungsbeben bezeichnet werden zum Unterschied von den radialen Beben desselben Gebietes. Wo sich die radialen Linien durchschneiden, wie unter den Liparen, mag man auch von zentralen Senkungsbeben sprechen. Es mögen auch verschiedene Schollen eines Senkungsfeldes gleichzeitig, doch in verschiedenem Sinne erbeben. In allen Fällen bleibt die Eruption der Vulkane bei den Dislokationsbeben eine sekundäre Erscheinung."

Die Küsten des Mittelmeeres waren in neuerer Zeit abermals der Schauplatz von Erschütterungen, die wir wohl als Dislokationsbeben auf absinkenden Schollen auffassen dürfen; wir meinen das ligurische Beben von 1887, das messenische von 1886 und das zantiotische von 1893. Von der Westecke Kretas zieht dicht an der Südwestspitze Messeniens vorbei ein auffallend tiefer und steiler unterseeischer Absturz nach Nordwesten, streicht entlang der Außenseite der Jonischen Inseln und läßt sich in nordnordwestlicher Richtung bis gegen Korfu verfolgen. Diese bis 4400 m tiefe Einsenkung, die Polatiefe, wie sie von der österreichischen Expedition zur Erforschung des östlichen Mittelmeeres genannt wurde, trennt Griechenland vom Tiefbecken des Jonischen Meeres, dessen ruckweises Nachsinken an dieser großartigen Bruchlinie als die Ursache des messenischen und zantiotischen Bebens betrachtet wird.

Die tektonischen Beben bieten, wie wir gesehen haben, eine ungemein große Mannigfaltigkeit der Erscheinungen; durch Beobachtung der Eigentümlichkeiten, die den verschiedenen Arten dieser Erschütterungen je nach ihren tektonischen Ursachen zukommt, werden wir dem Wesen dieser Erscheinungen wohl noch um ein gutes Stück näher kommen. Aber auch jetzt schon geht aus diesen Betrachtungen hervor, daß wir in Vulkanausbrüchen und Erdbeben die einzelnen Symptome und kleinsten Bewegungen der Senkung und der Zusammenfaltung von Gebirgen vor uns sehen, daß diese Vorgänge also noch heute ununterbrochen thätig sind.

Geographische Homologien.

Das Studium der Gebirgsbildung klärt uns über die Entstehung einzelner Glieder der kontinentalen Massen und über ihre Gestaltung auf; aber die Festländer und Meeresbecken in ihrer Gesamtheit, die die großen Hauptzüge des Reliefs unseres Planeten darstellen, bringen uns vor neue Fragen, die wohl zu den dunkelsten und schwierigsten gehören, welche die Geologie überhaupt beschäftigen. Darum können wir uns der Einsicht nicht verschließen, daß wir auf

diesem Gebiet oft vagen Hypothesen, ja einem ratlosen Herumtasten an noch unverstandenen Erscheinungen begegnen, und daß wir hier noch in den allerersten Schritten zur Anbahnung einer Erkenntnis begriffen sind.

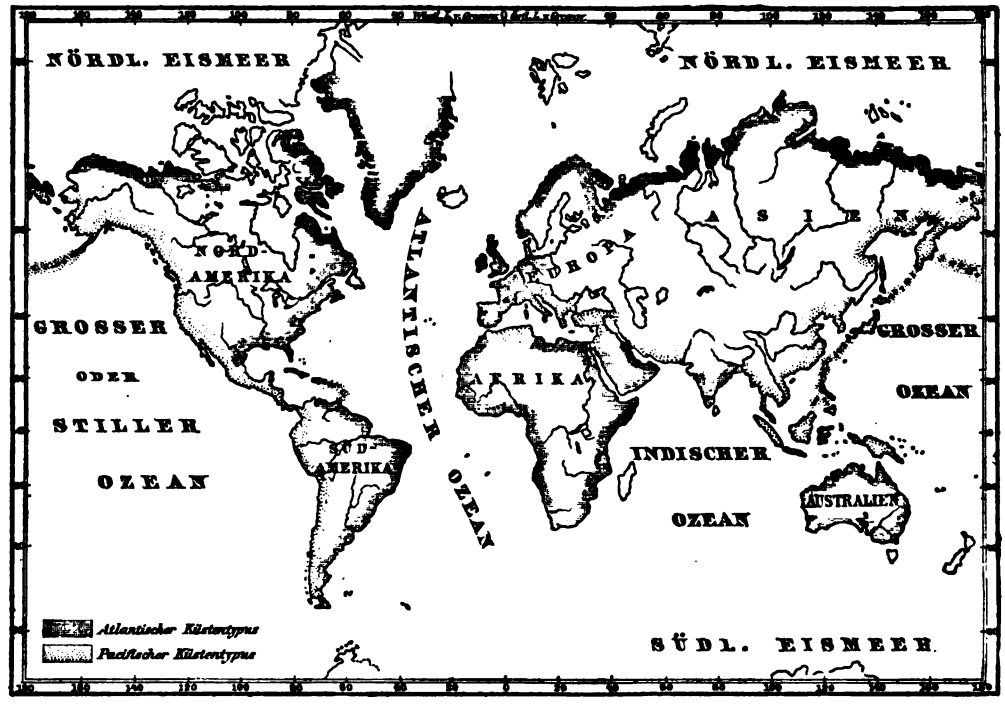
Der Umriß der Festländer und der Meeresbecken ist bekannt; auf der nördlichen Halbkugel ist die Hauptmasse der Kontinente zusammengedrängt, auf der südlichen überwiegt das Meer. Die größten Tiefen des letzteren bleiben in ihrem Betrage nur sehr wenig hinter den höchsten Bergen zurück. Während eine Lotung östlich von Japan den Boden erst bei 8400 m erreichte, ragt der höchste bis jetzt gemessene Berg der Erde, der Gaurisankar im Himalaja, zu 8840 m empor. Es beträgt demnach der Abstand zwischen der höchsten Erhebung und der tiefsten Einsenkung der Erdfeste 17,240 m. Aus der annähernden Gleichheit des Betrages für größte Bergeshöhen und bedeutendste Meerestiefen darf man jedoch nicht schließen, daß die Erhebung der Kontinente über Wasser ungefähr dieselbe sei wie die Einsenkung der Meeresbecken. In Wirklichkeit besteht, wenn man nicht einzelne exzessive Größen, sondern mittlere Werte berücksichtigt, zwischen beiden ein sehr bedeutender Unterschied. Während nämlich nur sehr wenige isolierte Spitzen in sehr große Höhe hinaufreichen, bildet das Meer, abgesehen von den Steilküsten, überall ein ziemlich flaches Relief, und wenn auch sehr erhebliche Tiefenunterschiede herrschen, so verlaufen doch Erhabenheiten und Einsenkungen allmählich ineinander. So kommt es, daß die durchschnittliche Erhebung der Kontinente über dem Meer etwa 440 m, die mittlere Meerestiefe etwa 3440 m beträgt.

Man hat vielfach versucht, in der Gestaltung der verschiedenen Kontinente übereinstimmende Züge, „geographische Homologien", aufzufinden. Wären solche einmal mit Sicherheit erkannt, und wäre es nachweisbar oder auch nur in hohem Grade wahrscheinlich, daß sie in den verschiedenen Fällen auf übereinstimmenden Ursachen beruhen, so könnte man hoffen, daraus Anhaltspunkte für ein Urteil über die Entstehung der Festländer zu erhalten; aber leider stehen diese Vergleiche auf schwachen Füßen und sind wenig geeignet, als Ausgangspunkte für weitere Schlüsse zu dienen.

Einer dieser gemeinsamen Züge soll darin bestehen, daß die Kontinente auf zwei einander gegenüberliegenden Seiten von Kettengebirgen eingesäumt sind, von denen das höhere auf der Seite des größeren Ozeans liegt, während in der Mitte eine Einsenkung stattfindet und die niedrigere dieser Ketten oft noch durch eine weite Ebene jungen Schwemmlandes von der Küste getrennt ist. In Südamerika liegen z. B. im Westen am Stillen Ozean die Anden, im Osten das brasilische Bergland, dann das brasilische Tiefland; in Nordamerika im Westen die Sierra Nevada, im Osten die Alleghanies, vor diesen die flache Ostküste. In Asien treten im Süden die riesigen Mauern des Himalaja und Kuenlün, im Norden der Altai und noch weiterhin gegen das Eismeer die sibirische Ebene auf. Allein, wenn wir etwas näher zusehen, so finden wir, daß die Regel nicht allgemein gilt. Legen wir in Südamerika den Querschnitt nicht, wie es gewöhnlich geschieht, von den bolivianischen Anden nach Osten, sondern unter dem Äquator oder im Süden vom südlichen Chile aus, so haben wir nur eine westliche Gebirgskette und im Osten daran anschließend bis zum Meer weite, ununterbrochene Flächen. In Nordamerika entspricht die weit nach innen gerückte Lage des Felsengebirges ebenfalls nicht diesem vermeintlichen Gesetz. Führt man in Asien den Schnitt statt im Meridian der Gangesmündung z. B. durch die vorderindische Halbinsel nach Norden oder durch den Meridian von Merw, so erhält man absolut abweichende Bilder. In Europa ergeben sich vielfache Widersprüche gegen jene scheinbare Regel, und bei Afrika und Neuholland kann man vollends nur durch reine Willkür eine entfernte Ähnlichkeit mit dem Schema finden. Unter diesen Umständen darf man hier von keinem allgemein herrschenden Gesetz sprechen; daß verhältnismäßig oft große Ketten am Meere liegen, ist die einfache Folge der Verknüpfung zwischen Gebirgsbildung und Senkung.

Eine andere, weit auffallendere Erscheinung liegt in der vielen Festlandsmassen gemeinsamen Eigentümlichkeit, nach Süden in keilartig zugespitzter Form auszulaufen; Nord- und Südamerika, Grönland, Afrika, Vorderindien, Neuholland mit Tasmanien besitzen diese Gestalt, die jeder Blick auf einen Globus oder auf eine Erdkarte als einen ausgeprägten Grundzug in der Umrißbildung der Kontinente erkennen läßt.

Trotzdem darf auch dieser eigentümlichen Ähnlichkeit kein großer Wert beigelegt werden. Zunächst ist die Gestalt der Kontinente im Verlauf der geologischen Epochen nicht beständig genug, als daß diese Bildung als eine dauernde und daher in einem fortwährend wirkenden Gesetz be-



Karte des pazifischen und atlantischen Küstentypus. Vgl. Text, S. 397.

gründete erscheinen könnte; für den Beginn der Tertiärzeit ist es wenigstens für Afrika und Vorderindien sehr wahrscheinlich, daß sie noch keine derartige Gestalt zeigten. Vor allem aber wird die geringe Bedeutung der nach Süden gerichteten keilförmigen Endigung dadurch klar, daß es nicht dieselben geologischen Faktoren sind, die in den verschiedenen Fällen die Erscheinung bedingen.

Der Versuch einer Erklärung durch stärkere Anhäufung von Wasser auf der südlichen Halbkugel ist absolut ungenügend, da auch die untermeerischen „Festlandssockel" dieselben Umrisse haben; die Ursache muß in den Kräften liegen, die die Kontinente modellieren, also in tektonischen Vorgängen. Wenn wir nun zusehen, in welcher Weise der Verlauf der Küstenlinien mit dem geologischen Bau zusammenhängt, so finden wir, wie Sueß gezeigt hat, zwei ganz verschiedene Typen, die ebensosehr in ihrer Bildung wie in ihrer Verbreitung voneinander abweichen. Längs der ganzen Westküste von Amerika, von Kap Horn bis Alaska, ist bis auf eine kurze Unterbrechung in der Gegend von Panama der Verlauf der Küste durch das Streichen riesiger Gebirgsketten bedingt, die überall den Ostrand des Stillen Ozeans einsäumen. Vom nordwestlichen Amerika an tritt dann eine Veränderung ein. Alaska und die Inselreihe der Aleuten sind die nördlichste jener vulkanischen Reihen, jener Festoninseln, die, die Außenseite

von Kesselbrüchen begrenzend, mit Vulkanen besetzte Bergketten darstellen und den Stillen Ozean nach Norden und an seiner asiatischen Westküste einsäumen. Wir sehen also, daß in der ganzen östlichen, nördlichen und westlichen Umrandung des Pazifischen Ozeans die Küste immer dem Streichen der großen tektonischen Linien folgt. Dieser *pazifische Typus* der Küstenbildung, wie Sueß ihn bezeichnet, ist nicht auf dieses Gebiet beschränkt; auch die gegen Südwesten, gegen den Indischen Ozean, gerichtete Begrenzung des Malayischen Archipels und die Westküste Hinterindiens bis zu der Mündung des Brahmaputra und des Ganges weisen ihn auf. Jenseits dieses großen Schwemmlandes, in Vorderindien, ist die Entwickelung eine ganz andere; aber der Persische Meerbusen ist wieder längs des Streichens der Gebirge begrenzt, und dasselbe ist in einem großen Teile des Mittelländischen Meeres der Fall. Die Küsten Syriens, Kleinasiens, der Balkanhalbinsel und Italiens, endlich Teile von Spanien und Nordafrika sind nach pazifischem Typus gebildet.

Den vollsten Gegensatz sehen wir im Atlantischen Ozean; nur das Gebirgsstück bei Gibraltar in Spanien und die Kordillere der Antillen haben pazifischen Bau. Abgesehen von diesen zwei Strecken, ist am ganzen Atlantischen Ozean keine Spur eines Zusammenhanges zwischen dem Verlauf der Küste und demjenigen parallel streichender Gebirge bemerkbar; die ganze Westküste von Afrika, von Spanien, Frankreich, England, Skandinavien, ferner Grönland, die ganze amerikanische Ostküste mit Ausnahme der Antillenregion, lassen die volle Unabhängigkeit des Kontinentalumrisses von solchen Erscheinungen erkennen; in der Regel schneidet er die tektonischen Linien des Landes. Es ist dies der *atlantische Typus*, der außerhalb des genannten Beckens noch die Ostküste von Afrika, die Südküste Arabiens, Vorderindien, Neuholland und wahrscheinlich auch die Nordränder Asiens und Nordamerikas beherrscht. (S. Abbildung, S. 396.)

Obgleich es also zweierlei total verschiedene Typen der Küstenbildung gibt, sehen wir doch unter der Herrschaft des einen wie des anderen keilförmig zugespitze Umrisse hervortreten und können daher in dieser Gestaltung keine auf die gleiche Ursache zurückgehende Erscheinung erkennen.

Die Frage der Strandverschiebungen.

Weit über den Bereich der zuletzt berührten Frage ist der Gegensatz zwischen pazifischem und atlantischem Typus von Bedeutung. Wo immer der erstere herrscht, sind es sehr junge tektonische Bewegungen der Erdrinde, die die Grenze zwischen Meer und Festland bestimmen. Zwar ist dies auch in manchen nach atlantischem Muster gebauten Regionen der Fall, aber dann sind es stets Querbrüche, die den Küstenverlauf bedingen. Jedenfalls sehen wir die Begrenzung der Kontinente durch sehr junge Äußerungen der gebirgsbildenden Kräfte in weitgehender Weise verändert und gelangen dadurch zu der großen und *viel umstrittenen Frage, ob die Verteilung der Festländer großen Veränderungen unterworfen ist, oder ob die Grundzüge dieselben bleiben* und sich wenigstens die Lage der Festlandssockel seit uralten geologischen Zeiten, solange überhaupt das Meer existiert, erhalten hat.

Diese letztere Ansicht wird von einer beträchtlichen Anzahl von Geologen vertreten, und es darf ihr als ein bedeutendes Verdienst angerechnet werden, daß sie auf die große Schwäche jener Hypothesen hinweist, die ein fortwährendes Auf- und Abschwanken von Kontinenten und Meeresboden annahmen. Viele Geologen und noch mehr solche, die mit der Geologie nur oberflächlich vertraut sind, haben im Dienste der verschiedensten Hypothesen Kontinente aufsteigen und wieder verschwinden lassen in einem Maße, das nicht gerechtfertigt werden kann. Wenn irgendwo in einem Schichtsystem ein Horizont fehlte, der sonst vorhanden zu sein pflegt, so wurde

sofort der Meeresboden in Bewegung gesetzt; er mußte durch säkulare Hebung in dem entsprechenden Zeitraum trocken gelegen haben. Um das Vorkommen irgend einer Käfergattung z. B. auf zwei ungeheuer weit voneinander entfernten Inseln zu erklären, mußten sich Tausende von Quadratmeilen in Bewegung setzen. Mögen nun streng kritische Untersuchungen ergeben, daß säkulare Hebungen vorkommen, oder nicht, so kann man sich jedenfalls nicht entschieden genug gegen derartigen Mißbrauch erklären.

Daß das Verhältnis zwischen Wasser und Land im allgemeinen nicht immer dasselbe ist, geht mit absoluter Sicherheit aus der Verbreitung von Meeresablagerungen auf dem festen Lande hervor. In früherer Zeit verfolgte man mit dem äußersten Interesse, bis zu welcher Höhe über dem Meeresspiegel in den größeren Gebirgen marine Versteinerungen gefunden werden, und schloß dann, daß bis zu dieser Höhe einstmals das Meer gereicht habe. Eine solche Folgerung ist in dieser Einfachheit natürlich unrichtig; es handelt sich gerade bei den auffallendsten Beispielen in der Regel um gestörte Schichten, die ihre bedeutende Höhenlage lediglich den mechanischen Vorgängen bei der Aufrichtung der Gebirge verdanken. Man darf selbstverständlich bei allen derartigen Folgerungen nur auf ungestört und horizontal gelagerte Sedimente Rücksicht nehmen. Immerhin finden wir auch bei dieser Beschränkung noch weit landeinwärts und in bedeutenden Höhen selbst bis zu 1800 m über dem Meer Gesteine mit Korallen, Seeigeln, Foraminiferen und Meeresmuscheln in ganz normaler Lagerung und erfahren hierdurch, daß diese Stellen einst Meeresboden waren. Die erste Frage ist nun natürlich, ob das Land aufgestiegen ist oder das Wasser sich zurückgezogen hat, und sehr verschieden hat zu verschiedenen Zeiten die Antwort gelautet. Lange Zeit hindurch hat die Erörterung dieser Frage fast gänzlich geruht; erst durch die Untersuchungen von E. Sueß ist sie wieder in den Vordergrund gestellt worden. Von diesem Forscher ist auch hervorgehoben worden, daß es streng genommen bei dem heutigen Stande unseres Wissens nicht zulässig ist, von Hebungen und Senkungen des Landes zu reden, sowenig als von einem Ansteigen oder Zurückweichen der Wasserfläche; er schlägt daher vor, nur von Verschiebungen der Strandlinie zu sprechen. Als positive Bewegungen bezeichnet er solche, die als ein Untertauchen oder Sinken des Landes, ein Ansteigen des Wassers erscheinen, während die Hebung des Landes, das Zurückweichen des Meeres negative Verschiebungen der Strandlinie heißen.

Besonderes Interesse erregen die Gegenden, in denen solche Verschiebungen in sehr junger Zeit, teilweise seit Menschengedenken, erfolgt sind, und diese Bewegungen, die seit Schluß der Tertiärzeit stattgefunden haben, müssen wir vor allen anderen besprechen. An der schwedischen und norwegischen Küste hatte man schon um die Mitte des vorigen Jahrhunderts Beobachtungen dieser Art gemacht; das Land schien sich zu heben oder der Wasserspiegel zu sinken. Linné und Celsius ließen an der Küste Marken anbringen, um das Fortschreiten der Bewegung im Laufe der Zeit messend verfolgen zu können; sie waren der Ansicht, daß der Meeresspiegel sinke. Erst im Jahre 1802 sprach Playfair aus, daß sich bei derartigen Erscheinungen das Land hebe, und namentlich L. von Buch betonte, ohne von der Ansicht seines Vorgängers zu wissen, im Jahre 1807 aufs entschiedenste: „Daß der Meeresspiegel sinken kann, das erlaubt das Gleichgewicht der Meere schlechterdings nicht; da nun aber das Phänomen der Abnahme sich absolut nicht leugnen läßt, so bleibt, soviel wir jetzt sehen, kein anderer Ausweg als die Überzeugung, daß Schweden sich langsam in die Höhe erhebe."

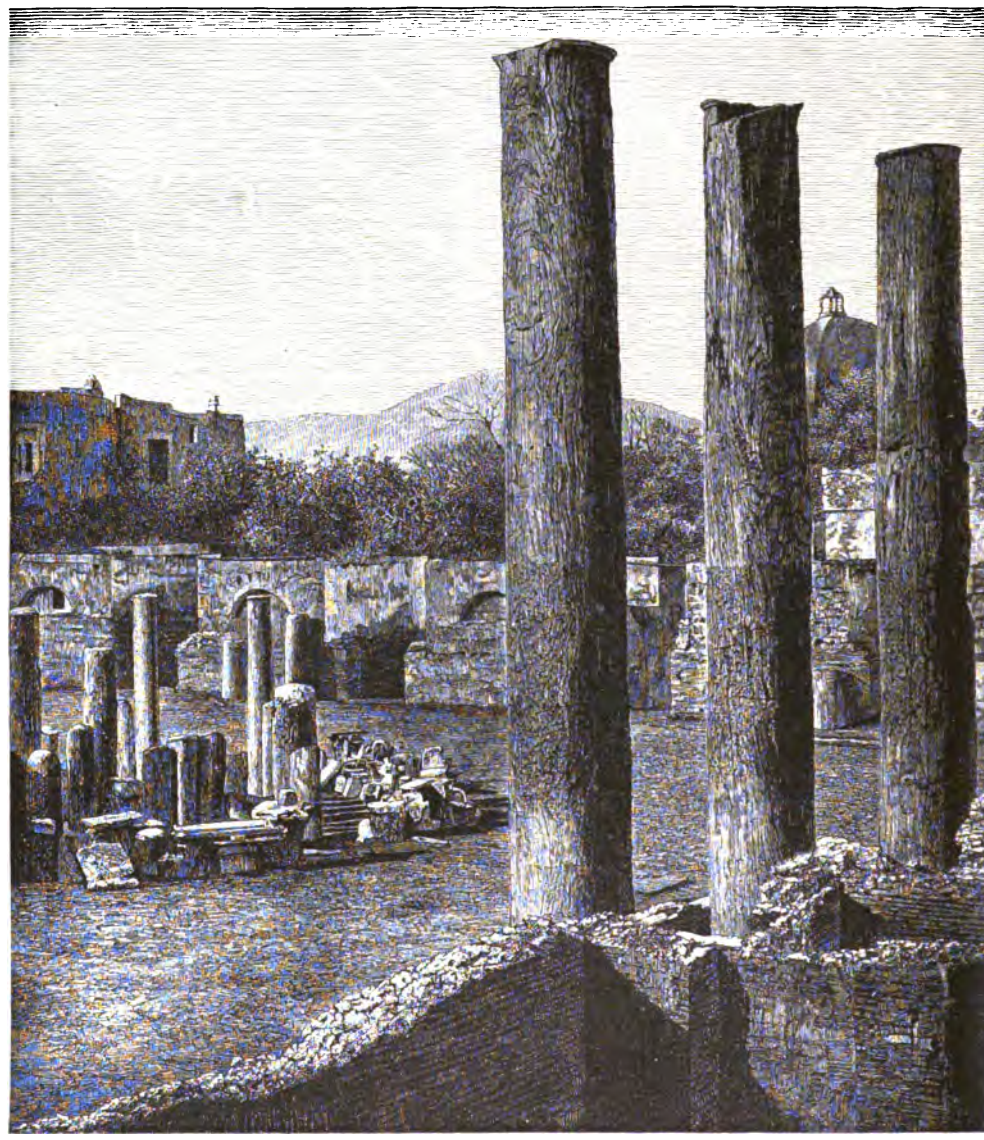
Diese Lehre vom langsamen Ansteigen der Kontinente wurde von den Geologen begierig aufgegriffen, da sie den Schlüssel für die oben erwähnte merkwürdige Erscheinung des Auftretens horizontal gelagerter Meeresbildungen im Binnenlande zu bieten schien. Bald gesellten sich zu dem Beispiel von der Küste Skandinaviens noch andere, die auf eine Hebung in sehr junger Zeit

hinwiesen, während sich auf der anderen Seite Anzeichen einer entsprechenden Senkung des festen Landes an anderen Punkten fanden. Es entwickelte sich daraus die Lehre von den *säkularen Schwankungen des Meeresbodens und der Festländer*. Im vollen Gegensatz zu den mit Störungen, mit Aufrichtung und Faltung, mit Bildung von Brüchen und Verwerfungen verbundenen Äußerungen der gebirgsbildenden Kräfte, deren Wesen wir besprochen haben, sollte äußerst langsam über weite Strecken hin senkrechte Auf- oder Abwärtsbewegung stattfinden, die infolge einer gewissen Biegsamkeit der Erdrinde ohne Spaltenbildung vor sich gehe; ja, in gewissen Fällen sollte eine größere Landmasse eine Schaukelbewegung ausführen, in der Weise etwa, daß der Norden ansteige, der Süden sinke, während ein in der Mitte gelegener Strich im alten Niveau bleibe; endlich wird angenommen, daß eine und dieselbe Region abwechselnd steige und sinke.

Die Untersuchungen über diese wichtigen Fragen haben früher an einem Grundfehler gekrankt, an der *Mangelhaftigkeit der verwendeten Beobachtungen*, die häufig sehr weit davon entfernt waren, zuverlässig zu sein oder die daraus abgeleiteten Schlüsse zu rechtfertigen. Neben unzweifelhaften Thatsachen wurden wenig beglaubigte Erzählungen von Reisenden berücksichtigt, manche der angeblichen Hebungen beruhen lediglich darauf, daß durch abgelagertes Sediment dem Meere Raum abgewonnen wurde, ohne daß ein Ansteigen des Landes verbürgt wäre. Muschelanhäufungen über dem heutigen Niveau des Meeres, die als Zeichen einer Hebung galten, haben sich später als die Reste der Mahlzeiten einer großenteils von Schaltieren lebenden alten Bevölkerung erwiesen. Eine Menge der sogenannten Senkungen lassen sich sehr einfach dadurch erklären, daß lose Massen von Sand, Thon oder ähnlichem Material von sehr häufigen Gleitbewegungen heimgesucht werden, wie sie der Natur der Sache nach ganz besonders häufig in den gewaltigen Massen jung angeschwemmten Landes an den Mündungen großer Ströme vorkommen. Ähnlich verhält es sich mit mächtigen Lagen von Waldboden oder Torf, die aus vegetabilischen Teilen bestehen und durch stete Zersetzung des Materials eine starke Volumenverminderung erleiden. Endlich muß die oft wiederholte Behauptung, daß thätige Vulkane stets Hebungsgebiete bezeichnen, entschieden abgelehnt werden. Aus diesen kurzen Andeutungen geht schon genügend hervor, wie viele Fehlerquellen hier vorliegen, wie viele Möglichkeiten der Täuschung sich namentlich beim Versuch ergeben, kleinere Schwankungen zu bestimmen.

Erst E. Sueß hat eindringlich auf eine strengere Prüfung der einschlägigen Angaben bestanden und gezeigt, daß eine Reihe von Beispielen, die man seit Jahren zu den verläßlichsten Stützen der Hebungslehre gezählt hat, für diese in Wirklichkeit ganz belanglos sind. Dahin gehören vor allen die oft berufenen Erscheinungen des *Serapistempels* bei *Puzzuoli* am Golf von Neapel (s. Abbildung, S. 400). Wohl die meisten Besucher Unteritaliens haben diesen merkwürdigen Punkt kennen gelernt und die drei hohen, noch aufrecht stehenden Säulen betrachtet, gewaltige Monolithen, die bis zu etwa $3^1/_2$ m über dem Boden glatt und unversehrt, darüber aber in einem breiten Gürtel von fast 3 m angewittert und von Bohrmuscheln (Lithodomus dactylus), die nur im Salzwasser leben, durchlöchert sind. Die erste Erwähnung des Tempels stammt aus dem Jahre 105 v. Chr.; im Jahre 205 n. Chr. stand er noch unversehrt. Später ist er in Verfall geraten, Schutt, vulkanische Materialien und Sinterbildungen bedecken den Boden bis zu einer Höhe von $3^1/_2$ m. Dann muß das ganze Bauwerk allmählich untergetaucht sein, und zwar bis zu dem Niveau, das durch die obersten Löcher der Bohrmuscheln angegeben wird. So hoch der Mauerschutt lag, blieben die Säulen von den Bohrungen verschont, aber darüber waren sie bis zum Meeresspiegel den Bohrmuscheln preisgegeben. Die Phase der langsamen positiven Bewegung der Strandlinie und der Lithodomenbohrungen fällt in die Zeit des Mittelalters, und deren plötzliches Sinken oder das Emportauchen der Küste wird mit der Eruption des Monte Nuovo im Jahre 1538 in Verbindung gebracht. Obwohl dies wiederholt bestritten wurde,

ist nach den Ausführungen von E. Sueß, auf die wir schon S. 176 hingewiesen haben, kein Grund vorhanden, an der Richtigkeit dieser historischen Überlieferung zu zweifeln. Die ersten Anschwellungen des Bodens scheinen sich übrigens, gewissen Dokumenten zufolge, schon zu Be-



Der Serapistempel von Puzzuoli. An den drei großen Säulen im Vordergrunde sind unter der Mitte die dunkleren von den Bohrmuscheln angenagten Partien zu sehen. Vgl. Text, S. 399.

ginn des 16. Jahrhunderts eingestellt zu haben, und auch diese Erscheinung hat nach unseren jetzigen Erfahrungen nichts Befremdendes an sich; ist doch die Hebung von Pantellaria ebenfalls ruckweise erfolgt und die erste Bewegung ein Jahr vor dem submarinen Ausbruch von 1891 eingetreten (vgl. S. 188)! Selbst die merkwürdige Beständigkeit der unter dem Namen Le Canterelle bekannten Thermen, die schon im Altertum zu Bädern dienten und noch heute an derselben Stelle landwärts hinter dem Tempel ausfließen, kann diese Deutung nicht erschüttern, denn wir

wissen, daß auch die Quellen auf Pantellaria durch die vulkanische Hebung dieser Insel nur für kurze Zeit alteriert wurden, bald aber an denselben Stellen wiedergekehrt sind. Ebensowenig wie die vulkanische Hebung kann auch die Senkung des Bodens im Mittelalter Bedenken erregen, denn es ist klar, daß an einer aus lockeren vulkanischen Bildungen bestehenden Meeresküste im Inneren eines großen Eruptivgebietes die günstigsten Bedingungen für leichte Gleitbewegungen und Senkungen gegeben sind.

Die Bohrungen an den Säulen des Serapistempels haben auch noch andere Deutungen gefunden. Es wurde die Ansicht ausgesprochen, daß sich hier ein Wassertümpel, umgeben von Schutt und vulkanischer Asche, gebildet habe, in welchem sich Bohrmuscheln ansiedelten. Da aber das Fortkommen von Bohrmuscheln in einem Wasserbecken, das seinen Salzgehalt nur der Auslaugung vulkanischer Asche verdankt, nicht möglich ist, muß diese Deutung verworfen werden. Auch die Ansicht, der Serapistempel sei eine römische Piscine, d. h. ein Behälter für Seefische, gewesen, ist unhaltbar. Beim Abgraben des Mauerschuttes wurde nämlich der obere Teil einer vierten Säule aufgefunden, und dieser war über und über mit Bohrlöchern bedeckt; nur auf der im Schutt steckenden Unterseite fehlten diese Zeugen des ehemaligen Wasserstandes. Zur Zeit des Eintrittes des Meeres mußte also das Bauwerk mit Schutt bedeckt gewesen sein, und die Bohrlöcher konnten nicht vordem entstanden sein, als das Bauwerk noch unversehrt und in regelmäßiger Benutzung war.

Schwankungen des Bodens haben demnach am Serapistempel ohne Zweifel stattgefunden. Sie beweisen aber gar nichts für die Frage der kontinentalen Hebungen, denn es handelt sich hier keineswegs um die langsame Erhebung einer weit ausgedehnten Kontinentalscholle, sondern um eine geringfügige rhapsodische Hebung, die auf vulkanische Einflüsse zurückgeht und sich nur in der unmittelbaren Umgebung des betroffenen Ortes geäußert hat. Vermutlich gehört die in neuester Zeit bekannt gewordene, freilich viel beträchtlichere Hebung der vulkanischen Insel Palmarola in dieselbe Gruppe von Hebungserscheinungen.

Als ein zweites altbekanntes Beispiel wird der „Ran" von Kachh im östlichen Mündungsgebiet des Indus angeführt. Der Ran ist eine weit ausgedehnte, großenteils von Wasser bedeckte Ebene mit salzigem Boden. In dieser großen Fläche soll infolge eines starken Erdbebens im Jahre 1819 eine Hebung stattgefunden haben, so daß nun ein Teil des Gebietes den anderen überragt und in einer ziemlich bedeutenden, gegen 20 Fuß hohen Terrasse gegen die übrige Niederung absetzt; Ullah-Bund, der „Gottesdamm", wird von den Einwohnern diese unter ihren Augen ohne Menschenarbeit entstandene Abdämmung genannt. Die neueren Untersuchungen der indischen Geologen haben jedoch ergeben, daß es sich in Wahrheit ganz anders verhält: die erhöhte Partie, die mit dem Steilrand des Ullah-Bund gegen die tiefere Ebene absetzt, ist vollständig in ihrer ursprünglichen Lage geblieben und nicht aufgestiegen; dagegen haben die losen schlammigen Massen der Niederung eine Gleitbewegung ausgeführt, sie sind abgesunken, und der Ullah-Bund bezeichnet die Grenze, von der an diese Senkung stattgefunden hat.

Ähnlich verhält es sich mit dem dritten Fall, mit den Bewegungen der südamerikanischen Westküste. In einem großen Teil ist diese von den riesigen Vulkanen der Andeskette begleitet, und überaus zahlreiche und heftige Erdbeben haben die Gegend heimgesucht; der südliche Teil ist durch deutliche, hoch gelegene Muschelbänke, Terrassen und Strandlinien ähnlich jenen Norwegens als „in Hebung begriffen" gekennzeichnet. Hier soll nun die Bewegung nicht immer langsam und unmerklich vor sich gehen, sondern infolge mächtiger Erderschütterungen soll sich die chilenische Küste mehrmals, namentlich in den Jahren 1822, 1835 und 1837, mit Einem Ruck um mehrere Fuß gehoben haben. Merkwürdigerweise kann man jedoch über die Thatsache selbst nicht ins klare kommen; eine Anzahl von Reisenden und Augenzeugen behauptet

das Stattfinden einer wirklichen Hebung ebenso bestimmt, wie es von anderer Seite geleugnet wird. Dabei treten mehrfache Ursachen hervor, die eine Täuschung ermöglichen. Reisende wissen in der Gegend nicht genau genug Bescheid, um die wirklich eben erst entstandenen Änderungen sicher zu erkennen. Die Einwohner dagegen sind nicht naturwissenschaftlich geschult und zu wenig ans Beobachten gewöhnt, als daß ihren Aussagen großer Wert beigelegt werden könnte. Im Laufe der Jahre können mannigfache Erscheinungen langsam hervortreten; eine Meeresbucht kann durch Sedimente eines Flusses versanden oder das Meer etwas zurückweichen, ohne daß dies auffiele; tritt nun ein heftiges Erdbeben ein, wodurch die Bevölkerung aufgeregt wird, so blicken die Menschen, aus ihrer Ruhe aufgescheucht, ängstlich um sich und suchen nach den Wirkungen der Erschütterung oder nach Anzeichen, ob etwa eine Wiederholung bevorstehe; dann kommt ihnen jene Änderung, die sich im Laufe der Zeiten allmählich vollzogen, plötzlich zum Bewußtsein, und da nun einmal der Glaube verbreitet ist, daß Erdbeben häufig solche Erscheinungen mit sich bringen, wird denselben ohne weiteres auch diese Wirkung zugeschrieben. Deshalb sind alle Berichte, die später von den Einwohnern gesammelt werden, mit Vorsicht aufzunehmen, und wenn auch die eminente Autorität Darwins sich für die stattgehabte rasche Hebung erklärt hat, so müssen wir doch berücksichtigen, daß er gezwungen war, sich auf derartige ungenügende Urkunden zu stützen.

Um so größerer Wert ist auf die Ansicht E. Philippis zu legen, der Chile seit Dezennien bewohnt; er erklärt, daß ihm aus historischer Zeit keine Thatsache bekannt geworden ist, die auf eine derartige Hebung deuten würde. Sueß hat in neuester Zeit alle Daten über die südamerikanischen Erdbeben gesammelt und kommt ebenfalls zu dem Ergebnis, daß kein Bericht vorliegt, der einen Beweis für eine rasche Hebung durch Erdbeben beibrächte. Instruktiv ist, was er dabei über die räumliche Verbreitung dieser Erscheinungen in Südamerika sagt:

„Legen wir vor uns eine Karte von Südamerika und denken wir uns den großen Kontinent von Norden nach Süden nach der Linie der größten Länge und ebenso von Westen nach Osten nach der größten Breite in vier Teile geteilt. Es zeigt sich nun, daß der südwestliche Teil Südamerikas, jener, der Chile umfaßt, und von dem hier vorzugsweise die Rede war, Vulkane bietet und Erdbeben und Terrassen; der südöstliche zeigt Terrassen, aber keine Vulkane und nur sehr selten Erdbeben; der nordwestliche hat Vulkane und Erdbeben, aber keine Terrassen; der nordöstliche hat Erdbeben, aber keine Vulkane und keine Terrassen."

Es ist also bis jetzt nicht sicher erwiesen, daß an der chilenischen Küste bei Erdbeben thatsächlich Hebungen eintreten; bestimmt aber stehen die Terrassen, die unzweifelhaften Zeugen einer positiven Strandverschiebung, in keinem notwendigen ursachlichen Zusammenhang mit solchen Hebungen und mit Erdbeben.

Als Anzeichen einer positiven Bewegung der Strandlinie betrachtet man die untermeerischen Rinnen, die an der Mündung mancher Flüsse nachgewiesen sind und bis in beträchtliche Tiefen hinab gleichsam die Flußthäler fortsetzen. Derartige Erscheinungen sind namentlich von den Strömen Nordamerikas bekannt, und man hat hieraus geschlossen, daß dieser Kontinent in der Pliocänzeit, also vor Eintritt der Eiszeit, um ungefähr 1000 m höher gestanden hat als jetzt. Der Umstand, daß an beiden Küsten, der pazifischen wie der atlantischen, marine Pliocänablagerungen fehlen, spricht wohl sehr für diese Annahme; dagegen ist aber zu bemerken, daß solche Furchen auch an der Einmündung des Rheins in den Bodensee und des Rhône in den Genfer See bekannt sind. Man weiß noch nicht bestimmt, inwieweit diese untermeerischen Rinnen sichere Anhaltspunkte für die Beurteilung von Strandverschiebungen darbieten.

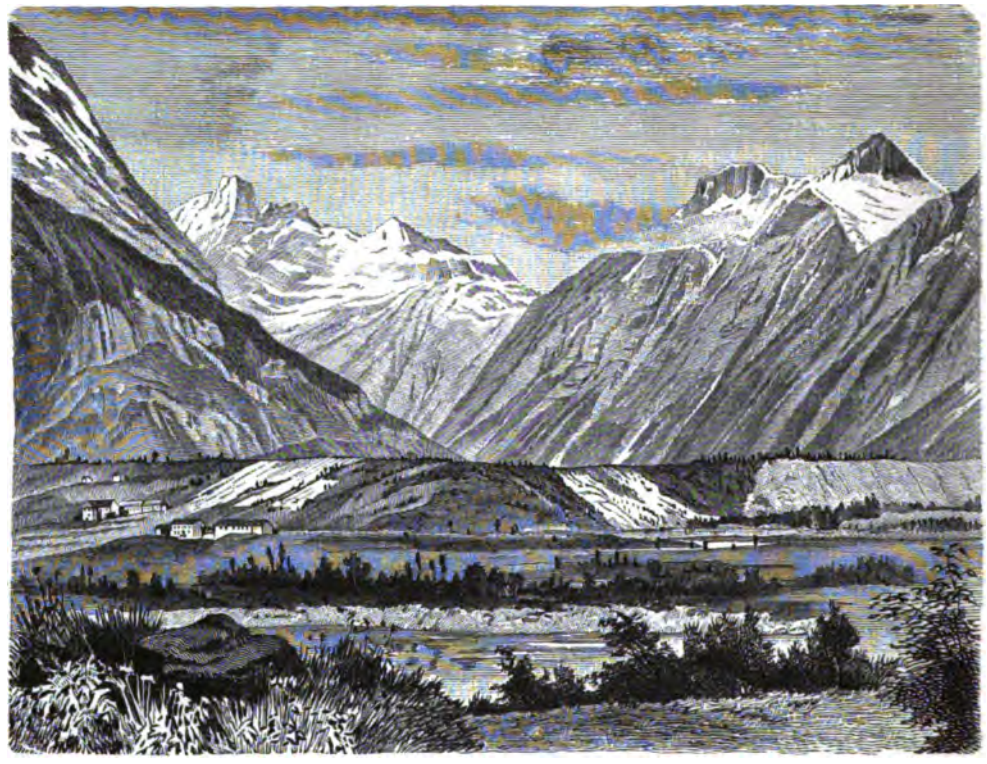
Wenn wir von diesen unsicheren Fällen absehen und auch die kleineren Schwankungen vorläufig unberücksichtigt lassen, so stellen sich die hauptsächlichen Erscheinungen, über die kein Zweifel ist, im großen und ganzen verhältnismäßig einfach dar. Als Zeugen großer Senkungen

des Festlandes oder starken Ansteigens des Meeresspiegels treten uns die Atolle und Barrierriffe der tropischen Meere entgegen, die wir in einem großen Teil der Südsee, im Indischen Ozean und im Atlantischen Meere wenigstens in der westindischen Region finden. Wir werden bei einer späteren Gelegenheit sehen, daß die Riffkorallen nur in einem seichten Gürtel zwischen dem Wasserspiegel und 20 Faden Tiefe üppig gedeihen, und daß demnach die Bildung jener Riffe, die oft mit steilem Absturz in beträchtliche Tiefen reichen, nur dann zu erklären ist, wenn der Wasserspiegel in stetem langsamen Ansteigen begriffen ist, so daß in dem Maße, in dem er

Terrassen von Ilivertalik, Grönland. (Nach A. Nathorst.) Vgl. Text, S. 404.

sich erhöht, die Korallen emporbauen. Wir haben also um den Äquator herum über weit ausgedehnte Strecken sichere Zeichen für das Ansteigen des Wasserspiegels und das Sinken des Landes. Daneben werden aus dem äquatorialen Gürtel auch einige Beispiele für die entgegengesetzte Bewegung angeführt, die sich zumeist auf das Vorkommen von Korallenkalken hoch über dem heutigen Meeresspiegel beziehen, wie es z. B. an den Küsten des Roten Meeres, auf Ceylon, den Philippinen, den Bahamas, den Nikobaren, den Salomon-Inseln ꝛc. zu beobachten ist. Leider ist es in vielen Fällen sehr schwer, ja fast unmöglich, zu entscheiden, ob die fraglichen Kalke der jüngst vergangenen Bildungsepoche der Gegenwart im geologischen Sinne oder aber der Tertiärzeit angehören. Die Molluskenschalen, die Korallengerüste ꝛc. der Riffkalke werden nämlich häufig durch Lösungsvorgänge sehr rasch bis zur Unkenntlichkeit entstellt, und dies erschwert in hohem Grade die sichere Bestimmung der Arten und damit auch des geologischen Alters. Ferner ist die Thatsache zu berücksichtigen, daß sich Korallenriffe auch ohne negative Bewegung der Strandlinie ziemlich bedeutend über den Meeresspiegel erheben können, indem Korallentrümmer und -Sand durch den Wellenschlag auf das Riff

hinaufgeworfen werden und so Dünen von ansehnlicher Höhe entstehen, die später durch die Wirkung des Regenwassers und des Meeres verfestigt werden. Manche der gehobenen Riffe kommen an vulkanischen Inseln vor und können daher wohl auch durch vulkanische Kräfte in jene auffallende Höhenlage gebracht sein. Wenn nun die sicher tertiären Riffe ausgeschieden und die übrigen Fehlerquellen berücksichtigt werden, vermindert sich die Zahl der Ausnahmen sehr beträchtlich, und die Erscheinung des Ansteigens der Strandlinie um den Äquator nimmt ein etwas einheitlicheres Gepräge an, wenn auch trotzdem noch einzelne Ausnahmen bestehen bleiben.



Norwegische Terrassenlandschaft. Vgl. Text, S. 405.

Durchaus andere Verhältnisse findet man in höheren Breiten in **großer Entfernung vom Äquator**, sowohl auf der nördlichen als auf der südlichen Halbkugel; hier treten überall die deutlichsten Anzeichen hervor, daß **der Meeresspiegel in neuerer Zeit gesunken oder das Land gestiegen** ist. Über dem heutigen Strande finden sich Spuren alter Uferlinien, Terrassen von jungen Sedimenten, zahlreiche Schalen noch jetzt lebender Meerestiere, langgezogene Strandlinien, die oft in den härtesten Fels eingeschnitten sind. Die skandinavischen Küsten, die Britischen Inseln namentlich in ihrem nördlichen Teil, Spitzbergen, Grönland (s. Abbildung, S. 403), der nördliche Teil von Nordamerika zeigen diese Erscheinungen in ausgezeichnetster Weise, und ebenso deutlich tritt die Terrassenbildung im südlichen Teil von Südamerika, in Südafrika und Südaustralien hervor.

Ein vortreffliches Beispiel dieser Vorkommnisse bietet **Norwegen**, das wir etwas näher ins Auge fassen wollen. In den ehemals vom Meer bedeckten Gebieten finden sich nicht nur marine Muscheln und Schnecken vereinzelt in Thonen und Sandlagen eingebettet, sondern stellenweise sieht man ganze Massen der gebleichten Schalen zusammengehäuft; man kann im ganzen 30 solcher

Muschelbänke unterscheiden, die in verschiedenen Höhen an den Gehängen gefunden werden. Die höheren, 125—155, im Christianiafjord bis 166 m über dem heutigen Meeresspiegel gelegenen Bänke enthalten hochnordische Tierarten, die während der Eiszeit lebten, während in den tiefer liegenden und natürlich später gebildeten dieselben Formen vorkommen, die noch heute an der Küste Norwegens leben.

Weit allgemeiner verbreitet als diese Muschelbänke ist die Terrassenbildung (s. Abbildung, S. 404), doch dürfen nicht alle Terrassen als Anzeichen von Strandverschiebungen

Ruine von Igalliko, Grönland. (Nach A. Nathorst.) Vgl. Text, S. 406.

betrachtet werden. Auf dem vom Atlantischen Ozean abgewendeten Gehänge des Gebirges befinden sich Terrassen und Strandlinien bis zu 1000 m Höhe und darüber, aber diese enthalten niemals Reste von Meerestieren. Da die hochliegenden Thäler, in denen diese Stufen auftreten, heute gegen das unterliegende Land offen sind, mußte einstens ein zeitweiliger Abschluß bestanden haben, und dieser wurde durch das abschmelzende Inlandeis der Diluvialperiode bewirkt. Weit über die Grenzen Skandinaviens dehnte sich in der diluvialen Eiszeit das nordische Inlandeis aus. Aus der Verbreitung des vom Eise verschleppten roten schwedischen Granits geht nun mit Sicherheit hervor, daß der Scheitel dieser Eismassen in der Längsachse der Halbinsel, also östlich von der heutigen Wasserscheide gelegen war, und daß das Inlandeis diese bergan überschreiten mußte, um zur atlantischen Küste zu gelangen. Beim Abschmelzen des Eises in der Rückzugsperiode der Vergletscherung wurde daher die Wasserscheide früher eisfrei als die tieferen Teile der süd- und ostwärts sich öffnenden Thäler, und der jeweilige Rand des Inlandeises bedingte eine Stauung der Gewässer in den hochgelegenen Thalabschnitten. Es bildeten sich Eisseen, in denen Schottermassen angesammelt und an deren Ufern durch die scheuernde Wirkung des Treibeises

scharfe Uferlinien in Form von horizontalen Absätzen eingeschnitten wurden. Wegen ihrer eigentümlichen Form haben diese Strandlinien die Bezeichnung „Seter" (d. h. „etwas, worauf man sitzen kann") erhalten. Von anderer Seite wurden die Inlandsterrassen als eine Art Seitenmoränen gedeutet und die Entstehung der „Seter" hauptsächlich auf die Frostwirkung zurückgeführt. Wie dem auch sei, so viel steht doch jedenfalls fest, daß die hochliegenden Inlandsseter mit dem Stande des Meeresspiegels nichts zu thun haben, sondern Folgeerscheinungen der diluvialen Vergletscherung bilden.

Anderer Art sind die Erscheinungen in den Küstengebieten. Ausgefurchte Strandlinien und Terrassen kommen hier in verschiedenen, aber stets geringeren Höhen vor. Die äußere Küste der Inseln gegen das Meer ist arm an derartigen Anzeichen, und hochliegende Terrassen treten daselbst überhaupt nicht auf. Erst in den verzweigten Meeresarmen innerhalb der vorliegenden Inseln, in den inneren Sunden und Fjorden, trifft man diese Bildungen in ausgezeichneter Entwickelung an. In der Regel tritt jeweils nur eine horizontale Linie auf, die oft meilenweit, bisweilen aber auch nur eine kurze Strecke weit kenntlich ist. Diese Linie bezeichnet an der betreffenden Stelle immer die höchste Grenze der marinen Ablagerungen. Weiter nach innen nehmen die Strandlinien ein immer höheres Niveau ein; nur wird von vielen Beobachtern behauptet, daß dieser höhere Stand gegen innen durch ein treppenförmiges Ansteigen einzelner, für sich horizontaler Teilstücke erzielt wird, während andere eine allmähliche Hebung der Linien annehmen. Endlich ist auch die Möglichkeit in den Vordergrund gestellt worden, daß die Fjordterrassen nichts anderes sind als Marken des Rückzuges des diluvialen Inlandeises, insofern nämlich als die inneren Teile mancher Fjorde durch quergestellte Gletscherzungen zeitweilig nach außen abgeschlossen waren und so Stauseen in diesen Terrassen entstehen mußten. Diese Erklärung kann aber nicht auf alle Fälle angewendet werden, und es ist daher jedenfalls als sichergestellt zu betrachten, daß in Norwegen seit der Eiszeit negative Strandverschiebungen stattgefunden haben.

Manche Erscheinungen sprechen dafür, daß diese Bewegungen der Strandlinie nicht ununterbrochen und gleichmäßig vor sich gegangen sind. Ein solcher Fall liegt z. B. im südlichen Grönland vor: die ganze Küste dieses Landes ist von hoch gelegenen Strandlinien umgeben, die bedeutenden Landgewinn beweisen; unmittelbar an der heutigen Küste aber lassen sich einzelne, wie es scheint, wohlbegründete Beweise dafür beibringen, daß in allerjüngster Zeit das Meer wieder vorgedrungen ist. So ist im Igalliko-Fjord nahe dem südlichen Ende Grönlands unter 60° 43′ nördlicher Breite auf einer kleinen Felsinsel, die bei Flut fast ganz unter Wasser steht, von Arctander im Jahre 1777 Mauerwerk eines Hauses entdeckt worden, und jetzt scheint es beständig im Wasser zu stehen (s. Abbildung, S. 405). Aber an den Rändern desselben Igalliko-Fjords hat Laube hoch oben am Gehänge Strandlinien beobachtet, wodurch die Vermutung widerlegt wird, daß Grönland in einer sogenannten Schaukelbewegung begriffen ist. Wir sehen hier vielmehr in einer Periode des Herabrückens der Strandlinie ein zeitweiliges und örtliches Vordringen des Meeres, eine positive „Zwischenbewegung" eingeschaltet, die aber nicht bedeutend genug ist, um die vorausgegangene negative Bewegung wesentlich zu beeinträchtigen. Auf ähnliche Vorgänge mag das Vorkommen trocken gelegter Korallenriffe in den Tropen zurückzuführen sein.

Die Thatsachen, die wir vorstehend kennen gelernt haben, weisen demnach auf ein Ansteigen des Landes oder Sinken des Wassers in den höheren Breiten der nördlichen wie der südlichen Halbkugel hin, während um den Äquator vorwiegend positive Bewegungen der Strandlinie erkennbar sind. Von dieser allgemeinen Regel finden wir Ausnahmen in beiden Gebieten.

Ursachen der Strandverschiebungen.

Wenn wir uns nun der Frage zuwenden, durch welche Vorgänge die besprochenen Verschiebungen der Strandlinie bewirkt werden, so betreten wir damit ein überaus schwieriges und viel umstrittenes Gebiet. Die thatsächlich beobachteten Erscheinungen können, wie wir schon angedeutet haben, sowohl durch ein Auf- und Absteigen einzelner Teile der Lithosphäre als auch durch entsprechende Schwankungen des Meeresspiegels erklärt werden. Darf man nun annehmen, daß in der Erdkruste zweierlei gänzlich verschiedene Massenbewegungen vor sich gehen können, von denen die eine örtliche Faltungen und Brüche, die andere gleichmäßige Hebungen und Senkungen der Kontinentalschollen als Ganzes zur Folge hat? Oder sollte es bei der allgemeinen Verbreitung dieser Erscheinungen nicht naturgemäßer sein, dem flüssigen Element der Ozeane die Rolle der Beweglichkeit zuzuweisen?

Die Antwort konnte nur in einer Bejahung der letzteren Frage bestehen, solange es nicht gelungen war, irgend eine ausreichende Ursache für die Hebung der Kontinente ausfindig zu machen. Man hat versucht, von den ältesten, ganz unhaltbaren Annahmen abgesehen, eine bewegende Kraft in der Kristallisation von vorher amorphen Gesteinen in der Tiefe zu finden, die bei diesem Vorgang eine Volumenvermehrung erleiden und die überliegenden Massen heben sollten. Ob dieser Faktor als ein im großen wirksamer überhaupt in Anspruch genommen werden darf, ist eine sehr zweifelhafte und verwickelte Frage; in keinem Fall aber kann er zur Erklärung der vorliegenden Erscheinungen ausreichen. Dann hat man eine Zeitlang geglaubt, die Ursache in der angeblichen Verminderung der Wassermenge auf der Erdoberfläche erblicken zu dürfen. Schon früher (S. 88) wurde hervorgehoben, daß in der That durch eine Reihe von Vorgängen, durch die Bildung von wasserhaltigen Mineralien, durch Versickern in die Tiefe, dem Kreislauf fortwährend Wasser entzogen wird, daß aber anderseits durch die Vulkane und ihre Dampfausströmungen unaufhörlich der Verlust ersetzt wird. Es liegt nicht der geringste Anhaltspunkt vor, der dazu berechtigte, eine Vermehrung oder Verminderung der Wassermenge seit den frühesten versteinerungsführenden Formationen anzunehmen; um so mehr haben wir bei den sehr jungen Erscheinungen, die hier in Betracht kommen, mit einer sich gleichbleibenden Menge zu rechnen, da Änderungen, wenn sie überhaupt vorkommen, jedenfalls viel zu gering sind, als daß sie innerhalb des kurzen Zeitraumes, um den es sich handelt, von irgend welcher Bedeutung sein könnten.

Ferner wurde angenommen, daß infolge der regelmäßigen Änderungen, die in Bezug auf die Exzentrizität der Erdbahn, auf die Präzession der Tag- und Nachtgleichen stattfinden, abwechselnd auf der nördlichen und auf der südlichen Halbkugel Kälteperioden, Eiszeiten, eintreten. Infolgedessen finden massenhafte Anhäufungen von Eis um den einen Pol statt, die nun auch ihrerseits das Wasser durch ihre Masse anziehen und dadurch ein Ansteigen desselben gegen den einen Pol bewirken; bei dieser Gelegenheit werden natürlich alle die Phänomene entstehen können, die wir in der zirkumpolaren Region beobachten. Gegen diese Hypothese spricht jedoch, abgesehen von wichtigen anderen Einwürfen, die unmittelbare geologische Beobachtung. Es gibt hoch gelegene Terrassen aus sehr junger Zeit sowohl in der Umgebung des Südpols als in jener des Nordpols; in beiden Regionen sehen wir sie immer niedriger abgestuft sich allmählich dem heutigen Meeresniveau nähern und finden in den untersten Stufen Verhältnisse, die zeigen, daß diese Stufen aus einer der Jetztzeit unmittelbar vorhergehenden Periode stammen. Alle Beobachtungen ergeben, daß die Terrassen des Nordens und des Südens gleichzeitig sind, während jene Hypothese es als eine notwendige Konsequenz mit sich bringt, daß die Eiszeiten und somit die hohen Wasserstände abwechseln müßten.

In neuerer Zeit hat man darzulegen gesucht, daß eine gleichzeitig an beiden Polen eintretende Vergletscherung, wie sie während der Eiszeit vorhanden war, Terrassenbildung zu erklären im stande sei. Aus den Beschreibungen der Reisenden über das Innere von Grönland und anderen größeren und bergigen Landmassen der Polarländer geht hervor, daß diese mit ungeheuern Gletschern bedeckt sind, die als mächtiges „Inlandeis" Berg und Thal vollständig überkleiden. Sehr viel größer noch als in der Jetztzeit müssen diese Eismassen während der Glazialzeit gewesen sein. Bekanntlich war damals ganz Skandinavien in derselben Weise vereist wie heute Grönland. Die Gletscher, die von hier ausgingen, füllten das ganze Becken der Ostsee aus, sie bedeckten die norddeutsche Ebene bis zu den mitteldeutschen Gebirgen; von Holland bis an den Fuß der galizischen Karpathen und bis weit hinein nach Rußland erstreckte sich die ungeheure Eiswüste und verbreitete Blöcke von skandinavischen Graniten und Schichtgesteinen, die durch die Bewegung des Eises fortgetragen wurden. Riesige Gletscher entwickelten sich in den Alpen, aber auch die Karpathen, das Riesengebirge, der Schwarzwald, die Vogesen, Pyrenäen, der Kaukasus, der Himalaja ꝛc. waren selbständige Zentren der Vergletscherung. Die Britischen Inseln waren vereist, und daß in den noch weiter im Norden gelegenen Ländern ähnliche Erscheinungen auftraten, braucht wohl kaum erwähnt zu werden. In noch größerem Maße als Europa war Nordamerika vereist; dort reichte das Inlandeis bis in die Gegend von New York und in das Seengebiet, und ebenso herrschte auf der südlichen Halbkugel ausgedehnte Vergletscherung.

Die gewaltigen Wassermassen, die notwendig waren, um so große Gebiete mit einer mächtigen Eishülle zu versehen, wurden natürlich dem Meer entzogen, und es mußte ein allgemeines Sinken des Meeresspiegels eintreten. Außerdem aber zogen die Massen des Inlandeises das Wasser nach Verhältnis ihres Gewichtes an, und dadurch wurde in den äquatorialen Gegenden der Niedergang des Meeresspiegels noch verstärkt, während an den vereisten Küsten, entgegen dem allgemeinen Sinken, ein relatives Ansteigen des Wassers und der Strandlinien bewirkt wurde. Auf dem Höhepunkt der Eiszeit wurden dem Meere so gewaltige Wassermengen entnommen, daß die Strandlinie trotz der Anziehung des Inlandeises nicht höher, ja wahrscheinlich sogar noch niedriger stand als heute. Erst während des Abschmelzens der Gletscher hätte ein Ansteigen der Strandlinie erfolgen müssen, da nun das allgemeine Meeresniveau durch die Schmelzwässer gehoben wurde, gleichzeitig aber die Anziehung der noch vorhandenen Eismassen weiter wirkte, also eine Summierung der für höheren Wasserstand günstigen Einflüsse stattfand. Durch den weiteren Rückgang des Inlandeises wurde die Anziehung geringer, so daß sich nun eine negative Bewegung der Strandlinie einstellen mußte.

Daß durch die enormen Eismassen der Glazialperiode ausgedehnte Umsetzungen der Meere in horizontaler Richtung herbeigeführt wurden, ist nicht zu bezweifeln; ob aber damit auch eine Vertikalbewegung des Meeresspiegels in dem durch die thatsächlichen Beobachtungen geforderten Maße verbunden war, geht aus den Darlegungen dieser Theorie nicht sicher hervor. In der That haben angestellte Berechnungen zu dem Resultat geführt, daß die Anziehung der Eismassen auf den Ozean durchaus nicht hinreicht, den Höhenunterschied gegen das jetzige Niveau des Meeresspiegels zu erklären. Unter den für die Theorie günstigsten Voraussetzungen verlangen die Höhenunterschiede zwischen den obersten Terrassen und dem gegenwärtigen Meeresspiegel, wenn man sie durch die Anziehungswirkung der Eismassen begründen will, eine Mächtigkeit des Inlandeises von 9—10 km, und dies ist ein Wert, der die höchsten Schätzungen mehrfach übertrifft. Man betrachtet deshalb auch diesen Versuch, die Erscheinungen der Terrassen und Strandlinien lediglich der Anziehung des glazialen Inlandeises zuzuschreiben, als gescheitert.

In eine neue Bahn wurde die Erforschung dieser fundamentalen Fragen von E. Sueß gelenkt, der, wie schon erwähnt, zuerst nachgewiesen hat, wie vorsichtig die Angaben über moderne

Hebungen und Senkungen gehandhabt werden müssen, wenn man nicht zu falschen Schlüssen gelangen soll. Deshalb stützte sich Sueß weniger auf die geologisch jugendlichen und verhältnismäßig geringfügigen Bewegungen, sondern schöpfte neue Vorstellungen aus den großen Hauptzügen des geologischen Baues und der geologischen Geschichte der Erde. Diese lehrt uns, daß von Zeit zu Zeit gewaltige Überflutungen des Festlandes durch das Meer, sogenannte „Transgressionen", stattgefunden haben; die Ablagerungen, die sich in transgredierenden Meeren gebildet haben, zeigen eine weit größere Verbreitung als die ihnen im Alter unmittelbar vorangehenden; sie greifen über die Grenzen jener weit hinaus und dehnen sich in großen Gebieten auf bedeutend ältere Gesteine, oft in ungleichmäßiger Lagerung aus (s. Abbildung, S. 365). Im paläozoischen Zeitalter hat sich eine Reihe solcher positiver Bewegungen der Strandlinie im Wechsel mit negativen ereignet, und noch bedeutender waren die Bewegungen in der mesozoischen Zeit. So fehlt dem ganzen nördlichen Teil der nördlichen Halbkugel der untere Teil der Juraformation, der Lias, in mariner Entwickelung, und mittlerer oder oberer Jura liegt an zahllosen Punkten übergreifend auf älteren Gebilden. Die oberen Teile der Kreideformation von der Cenomanstufe an aufwärts haben eine viel größere Verbreitung als die älteren Kreideablagerungen und liegen sehr häufig übergreifend auf Ablagerungen vom ältesten Urgebirge bis hinauf zum Jura. Im nördlichen Europa findet man in Schottland und Irland Schollen von oberer Kreide in der angegebenen Lagerung; in England und im nördlichen Frankreich liegt sie weithin ganz normal auf der unteren Kreide, reicht jedoch über deren Grenze hinaus und greift auf Ablagerungen der Devonformation, der Trias und des Jura über. In ganz Skandinavien, in Sachsen, Böhmen, in der Gegend von Regensburg, in den außeralpinen Teilen von Schlesien, Mähren und Galizien fehlt die untere Kreide, und verschiedene Glieder der Oberkreide liegen auf kristallinischem Gestein, auf paläozoischen Ablagerungen, auf Trias oder Jura auf. Im Gebiet der Mittelmeerländer, in Kalabrien, der Balkanhalbinsel, in Nordafrika, Syrien, Kleinasien, auf der ganzen Strecke bis nach Afghanistan und in Indien wiederholt sich dieselbe Erscheinung. Ebenso verhält es sich in gewissen Gegenden Südafrikas, in den Amurgebieten, in Japan, auf Sachalin und auf Borneo. In Nordamerika haben die östlichen Staaten von Texas bis New Jersey nur obere, keine untere Kreide, und auch in einem großen Teil der Weststaaten zeigt sich dasselbe Verhältnis, das in Mexiko, auf den westindischen Inseln und in Brasilien wiederkehrt.

In der Tertiärzeit fehlt es ebenfalls nicht an größeren Transgressionen; aber die Verhältnisse sind sehr verwickelt. Die oligocäne Transgression, die sich namentlich in Deutschland kenntlich macht, das allmähliche Zurückweichen des Meeres von den Höhen von Iran und aus dem mittleren Europa in den engeren Rahmen des heutigen Mittelmeeres und endlich wieder die streckenweise Erweiterung des Mittelmeeres durch örtliche Senkungen in jüngster Zeit, deren Bedeutung wir bereits besprochen haben, sind die hauptsächlichsten hierher gehörigen Ereignisse aus diesem Zeitabschnitt der Erdgeschichte.

Die Veränderungen, die mit diesen Transgressionen verbunden waren, sind nach Sueß viel zu ausgedehnt und viel zu gleichförmig gewesen, als daß sie in Bewegungen der Erdfeste ihren Grund haben könnten; namentlich die großartige Überflutung zur Zeit der Oberkreideformation erscheint geradezu als eine allgemeine physische Veränderung, die die ganze Oberfläche des Planeten beeinflußte. Hier liegen oszillatorische Bewegungen vor, welche die ganze Erde umspannen, und oszillatorisch ist auch das Wesen der kleineren Schwankungen der jüngsten Vergangenheit. „Soweit es möglich ist", sagt Sueß, „die Thatsachen zu beurteilen, scheint es, als würde Anhäufung von Wasser gegen den Äquator und Minderung gegen die Pole das Merkmal der jüngsten Bewegung sein, und als wäre dies nur eine der Oszillationen, welche im selben Sinne, d. h. mit positivem Übergewicht am Äquator und mit negativem Übergewicht an den Polen, sich folgen."

Über die Ursache der periodischen Umsetzung der Meere von den Polen zum Äquator spricht sich Sueß nicht näher aus; er deutet nur an, daß sie möglicherweise in einer zeitweiligen Beschleunigung der Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde zu suchen sei; die hierdurch verstärkte Fliehkraft müßte ein Abströmen des Wassers von den Polen zum Äquator zur Folge haben, und das umgekehrte Verhältnis müßte sich bei einer Abnahme der Geschwindigkeit einstellen. Außer dieser in ihren Ursachen noch nicht näher erkannten selbständigen ozeanischen Bewegung wirken noch andere, teils örtliche, teils allgemeine Verhältnisse auf den Stand des Meeresspiegels ein. So kann örtlicher Massenzuwachs durch die Bildung von Küstendeltas, die Ausfüllung von Ablagerungsbecken, die Entstehung neuer Gebirgsketten nicht ohne Einfluß auf den Meeresspiegel bleiben und ebensowenig Massenverlust infolge von Abwaschung. Auch Änderungen des Klimas, der Verdunstung einerseits, der Zufuhr von Süßwasser anderseits, können besonders bei stärker abgegliederten Becken von Einfluß sein, und dies wird von Sueß besonders für die Ostsee angenommen. Allgemeine oder „eustatische" Bewegungen werden durch die Bildung neuer Meeresbecken und durch das Fortschreiten der Sedimentation eingeleitet. „Der Erdball sinkt ein, das Meer folgt. Während aber die Senkungen des Erdballes örtlich umgrenzt sind, breitet sich die Senkung der Meeresfläche über die ganze benetzte Oberfläche des Planeten aus. Es tritt eine allgemeine negative Bewegung ein." (Sueß.) Eustatische positive Verschiebung der Strandlinie wird bewirkt durch die Bildung der Sedimente. Langsam, aber unausgesetzt füllen sich die ozeanischen Becken mit Sedimenten an, diese verdrängen die Meere aus den Tiefen, und ein zwar äußerst langsames, aber unaufhaltsames Steigen der Strandlinie wird die Folge davon sein müssen.

Die Darlegungen von E. Sueß über diese schwierige Frage haben unsere Vorstellungen in außerordentlichem Maße erleuchtet, eine vollständige Klärung des Sachverhalts aber haben sie uns nicht gewährt. Die eustatischen Bewegungen sind, wie Sueß selbst betont, für sich allein zur Begründung der Erscheinungen nicht ausreichend; die periodische Umsetzung der Ozeane aber ist ihrem Wesen nach noch dunkel. Da nun aber von E. Sueß ein mächtiger Anstoß zur weiteren Erforschung der Kontinentprobleme ausgegangen war, wendete man sich naturgemäß wieder der Prüfung jener Thatsachen zu, die der Annahme säkularer Hebungen günstig schienen.

Als Grundpfeiler dieser Lehre haben seit jeher die Beobachtungen von Bravais (1839) im Altenfjord gegolten, wonach ein leichtes Ansteigen der Strandlinien und Terrassen nach innen, landeinwärts, nachweisbar sein sollte. Wäre dies thatsächlich der Fall, so läge darin jedenfalls ein starkes Argument für eine erfolgte Hebung des Landes. Nun sind zwar die ursprünglichen Beobachtungen von Bravais wiederholt und von gründlichen Kennern des fraglichen Gebietes angefochten worden; aber aus genauen und ausgedehnten neueren Forschungen scheint in der That hervorzugehen, daß sich fast alle bekannten Strandlinien in zwei zusammenhängende Liniensysteme einordnen lassen, und daß sie überall landeinwärts ansteigen, und zwar das untere System in geringerem Grad als das obere.

Danach würde die Hebung des Landes ihren höchsten Betrag in der Nähe der Achse der Halbinsel und der Scheitelfläche der diluvialen Vergletscherung erreichen und nach außen hin abnehmen, so daß sie längs einer Linie, die ungefähr mit der Küste zusammenfiele, gleich Null wäre. Um eine Vorstellung von dem Betrag des Ansteigens zu geben, erwähnen wir, daß sich z. B. ein und dieselbe Strandlinie von wenigen Metern Höhe im südlichen Schonen auf mehr als 200 m Höhe nördlich von Christiania erhebt. In sehr anschaulicher Weise wurde dieses Verhältnis von G. de Geer dadurch zur Darstellung gebracht, daß die Punkte, an denen die Hebung den gleichen Betrag erreicht, zu je einer Linie, der sogenannten „Isanabase", zusammengezogen wurden. Die höchsten marinen Spuren liegen in 260—270 m Höhe. Das Hebungsgebiet fällt ziemlich genau mit der Verbreitung des Urgebirges zusammen.

Besonderer Nachdruck wurde ferner auf die zweifellos feststehende Thatsache gelegt, daß die der schwedischen gegenüberliegende deutsche Küste keine Spur von Strandlinien und Terrassen aufweist; es müßten nämlich solche auch an dieser Küste vorhanden sein, wenn der Rückzug des Meeres die negative Bewegung verursacht hätte, während ihr Fehlen selbstverständlich ist, wenn eine Hebung Skandinaviens bei gleichbleibendem Meeresniveau angenommen wird.

Dazu kommt noch, daß auch aus Nordamerika übereinstimmende Verhältnisse beschrieben werden. Die ehemaligen Küstenlinien senken sich ebenfalls gegen Süden und vom Inneren des Landes nach der gegenwärtigen Küste; so fällt z. B. die alte Strandlinie und Terrasse von 150 m Höhe bei Montreal bis auf 15 m bei Newhaven. In der Gegend von Montreal gehen die marinen Ablagerungen unmittelbar in die alten Terrassen der großen kanadischen Binnenseen über. Diese weiten Wasserbecken, der Ontario-, Erie-, Michigan-, Huronen- und Obere See, bezeichnen den Rand der eiszeitlichen Vergletscherung. Sie waren vordem zu einem gewaltigen Becken vereinigt, wie auch die weiter nordwestlich folgenden Seen, der Winnipeg-, der Winnipegosis-, der Manitobasee, zu einem großen gemeinsamen Becken, dem diluvialen Agassiz-See, zusammenflossen. Obwohl dieses große, an interessanten Erscheinungen reiche Forschungsgebiet noch lange nicht erschöpft ist, tritt doch schon eine Reihe von sichergestellten Thatsachen mit Klarheit hervor. Man hat erkannt, daß die hochliegenden Terrassen des glazialen Agassiz-Sees gegen Norden ansteigen, also vom Rande gegen das Zentrum der eiszeitlichen Vergletscherung, wobei sich der Betrag des Gefälles bei jeder tieferen Strandlinie verringert, ähnlich wie in Norwegen. Auf der Südseite des Huronsees liegen die Terrassen und Strandlinien bedeutend tiefer als auf der Nordseite, und das gleiche ist beim Ontariosee der Fall. Da nun nach der Gestaltung des nach Süden offenen Landes nicht einzusehen ist, wodurch der Abschluß des Seebeckens gegen Süden hätte bewirkt werden können, wenn der vormalige Wasserstand so hoch gewesen wäre, wie es durch die gegenwärtige Lage der Hochterrassen auf der Nordseite der Seen angezeigt wird, so wird man die Ansicht der amerikanischen Forscher nicht unbegründet finden können, daß aus diesen Thatsachen auf eine wirkliche Hebung des Festlandes zu schließen sei. Die gehobene Region fällt ungefähr mit dem Gebiet der eiszeitlichen Vergletscherung zusammen, und das Maximum der Hebung scheint nach den vorliegenden Beobachtungen aus dem Zentrum nicht unerheblich gegen Osten, nach dem Atlantischen Ozean, gerückt zu sein.

Die klimatologische Seite des Problems der Strandverschiebungen wurde in neuerer Zeit namentlich von E. Brückner und R. Sieger untersucht. Es handelte sich darum, zu entscheiden, ob das seit Linné und Celsius so vielbesprochene und noch jetzt stattfindende Emportauchen der schwedischen Ostseeküste auf klimatische Ursachen zurückgeführt werden dürfe oder nicht. Das offene Meer nimmt nämlich in der That an den klimatischen Schwankungen teil, indem es mit Zunahme des Regens auf dem Land eine entsprechende Aussüßung erfährt. Damit ist natürlich eine Verminderung seines Gewichtes verbunden, da das süße Wasser leichter ist als das salzige. Der Meeresspiegel steigt daher an den ausgesüßten Stellen ein wenig an, um das Gleichgewicht zu erhalten, während in trockenen Perioden eine Senkung des Meeresspiegels eintritt. Eine ganze Reihe kleinerer Strandverschiebungen dürfte auf diese Weise entstanden sein. Bei ungleicher Verteilung des Regenfalles kann es vorkommen, daß z. B. einem Ansteigen an der deutschen Küste der Ostsee ein Sinken an der schwedischen entspricht und umgekehrt. Es kann sich hierbei um Beträge bis zu 10 cm handeln. Von anderer Art ist aber die stetig absteigende Bewegung des Wasserspiegels in Schweden und Finnland. Sie fehlt gänzlich an der deutschen Küste und ändert sich in Schweden und Finnland von Station zu Station. Im Vergleich zur deutschen Küste hat sich die Strandlinie bei Stockholm in den fünfzig Jahren von 1825—75 um 19 cm negativ verschoben, bei Lökö in Finnland in den 29 Jahren von 1858—87 um 27 cm; anderseits ist auch

die Strandlinie bei Lökö im Vergleich zu Stockholm in den 17 Jahren von 1858—75 um 22 cm gesunken. Um diesen Unterschied durch einen verschiedenen Salzgehalt zu erklären, müßte an den schwedisch-finnischen Küsten ein Salzgehalt von ein Prozent und mehr angenommen werden, während er heute 1/2 Prozent nur wenig übersteigt. Als Folge einer fortschreitenden Entleerung der Ostsee auf Grund geänderter klimatischer Verhältnisse und geringeren Süßwasserzuflusses können die negativen Strandverschiebungen ebenfalls nicht aufgefaßt werden, denn der Wechsel der Zuflußmengen macht sich wohl deutlich geltend, ist aber von der negativen Strandverschiebung gänzlich unabhängig, und die Landseen, deren Wasserstand durch die Regenmenge ebenfalls und in erster Linie in Mitleidenschaft gezogen wird, zeigen in dieser Richtung keine genügenden Veränderungen an.

Wenn wir nun noch einen flüchtigen Blick auf die positiven Bewegungen um den Äquator werfen, so finden wir auch da Erscheinungen, die sich mit der Voraussetzung eines allgemeinen Ansteigens des Meeresspiegels nicht leicht vereinbaren lassen. Wie aus der später folgenden Besprechung der Korallenriffe hervorgehen wird, sind diese zu Beginn ihrer Bildung Strandriffe; erst wenn eine länger anhaltende positive Bewegung des Meeresspiegels das Wachstum der Korallen durch längere Zeit begünstigt hat, entstehen Barrierriffe, und das letzte Stadium bilden die Atolle. Wenn nun die Korallenbauten ihren Bestand dem steten Anschwellen des Meeres in der äquatorialen Zone verdankten, so müßten sich benachbarte Punkte in ungefähr demselben Stadium der Riffbildung befinden. Nun sind aber mehrere Fälle, z. B. von den Tschagos-Inseln, bekannt, in denen dies nicht zutrifft. Bei vielen Inselgruppen des Stillen Ozeans findet man Übergänge von gehobenen zu noch gedeihenden Riffen, aber in einer Richtung, die nur selten mit derjenigen nach dem Äquator zu übereinstimmt. Da unsere Kenntnis dieser Verhältnisse noch immer lückenhaft ist, müssen wir wohl mit einem abschließenden Urteil zurückhaltend sein; aber das bisher über Korallenriffe Bekannte läßt doch den Eindruck zurück, als ob sich die Annahme einer nicht völlig gleichmäßigen Senkung des Untergrundes mit den Beobachtungen besser in Einklang bringen ließe als das gleichmäßige Anschwellen des Meeres.

Man ist also in neuerer Zeit auf verschiedenen Wegen zu der Überzeugung gedrängt worden, daß die negativen Spuren in den hohen Breiten auf eine langsame Hebung großer Kontinentalschollen, die positiven Strandverschiebungen um den Äquator auf eine fortschreitende Senkung zurückzuführen sind. Zahlreiche und unbefangene Forscher sind durch strenge Prüfung der einschlägigen Beobachtungsthatsachen zu diesem Ergebnis gelangt, und die Theorie müßte sich ihm anbequemen, selbst wenn sie nicht im stande wäre, eine ausreichende Ursache für die Entstehung solcher Hebungen anzugeben. Es ist aber auch in dieser Beziehung eine Wendung eingetreten. Wie schon bei der Besprechung der neueren Ansichten über die Gebirgsbildung hervorgehoben wurde, reichen die thermalen und die isostatischen Hypothesen der Gebirgsbildung zwar, wie es scheint, nicht zur Deutung der Faltengebirge aus, wohl aber zeigen sie, auf welche Weise langsame Hebungen großer Kontinentalstrecken zu stande gekommen sein mögen. Daß die Prozesse der Durchwärmung und die Bewegungen zur Herstellung des isostatischen Gleichgewichts in der Erdkruste stattfinden müssen, steht fest, wenn man auch über deren quantitative Bedeutung verschiedener Meinung sein mag. Jedenfalls entbehren wir nicht mehr vollkommen einer naturgemäßen Vorstellung über den möglichen Hergang kontinentaler Hebungen, und die eingangs gestellte Frage, ob es statthaft sei, verschiedene dynamische Vorgänge in der Erdkruste vorauszusetzen, dürfen wir heute wohl in bejahendem Sinne beantworten. Speziell für die jungen Bewegungen dieser Art in Skandinavien und in Nordamerika finden wir in der bereits S. 385 besprochenen Theorie, daß auch die Erniedrigung der Temperatur einzelner Erdkrustenteile zu örtlichen Bewegungen in der Lithosphäre führen müsse, eine ansprechende Erklärung. Von anderer Seite wird nicht so sehr

die Durchwärmung und die damit verbundene Ausdehnung der Gesteine, als vielmehr die Entlastung der Kruste infolge des Abschmelzens des Inlandeises als bedeutungsvoll angesehen. Daß sich die ehemals vergletscherten Flächen mit den später gehobenen ungefähr decken, und das Maximum der Hebung so ziemlich mit der Scheitelfläche der Inlandeismassen zusammenfällt, bietet eine wesentliche Stütze für beide Anschauungen.

Eine andere Frage aber ist es, ob wir berechtigt sind, auch jene großen, fast die gesamte Oberfläche der Erde umfassenden Überflutungen, wie z. B. die Transgression der Oberkreide, in derselben Weise aufzufassen wie die Strandverschiebungen der jüngsten Zeit. Man müßte von diesem Standpunkt aus annehmen, daß zur Zeit der oberen Kreideformation ziemlich gleichzeitig eine bedeutende Senkung des weitaus größten Teiles der gesamten Kontinentalflächen eingetreten sei. Dies hieße den Kontinenten ein so außerordentliches Maß von Beweglichkeit zuschreiben, wie es nach allem unseren Wissen nicht gerechtfertigt werden kann. Zur Erklärung der großen Transgressionen werden wir daher der Voraussetzung einer Beweglichkeit der Ozeane wohl nicht völlig entraten können.

Alter der Festländer.

Es wurde hervorgehoben, daß die Kontinente uns verschiedene Probleme zur Lösung aufgeben. Das eine haben wir so weit verfolgt, wie es bei dem heutigen Stande unserer Kenntnisse möglich war; aber sofort schließt sich als zweite Frage an, ob sich die Lage der Festländer und Meeresbecken wenigstens in ihren großen Hauptzügen seit unvordenklichen Zeiten gleichgeblieben ist, oder ob sie wesentliche und tief greifende Veränderungen erleidet.

Im Anschluß an die Lehre von den säkularen Hebungen und Senkungen, wie sie von Playfair und Leopold von Buch aufgestellt worden war, hat sich die Ansicht herausgebildet, daß in diesen Erscheinungen die einzelnen schwachen Anzeichen großer Bewegungen vorliegen, die im Laufe der Zeit ganze Kontinente bis zum Meeresgrund versenken und an ihrer Stelle andere emporbringen. Namentlich Lyell hat diese Ansicht sehr entschieden vertreten und ins einzelne ausgeführt. Die Kontinente sollten für einzelne geologische Formationen konstant sein, aber im Verlauf längerer geologischer Perioden so vollständige Änderungen erfahren, daß die Landverteilung nach Ablauf einer solchen mit der früheren auf einer und derselben Halbkugel nicht mehr Ähnlichkeit haben sollte als etwa heute die östliche mit der westlichen Hemisphäre.

Dagegen haben andere Forscher die Ansicht ausgesprochen, daß die Festländer und Meeresbecken sich in ihren Hauptzügen von jeher gleichgeblieben sind. Diese Auffassung vertritt z. B. J. Dana und in neuerer Zeit namentlich Geikie und Wallace. Diese Gelehrten stellen allerdings fortwährende, sehr langsam verlaufende Hebungen und Senkungen nicht in Abrede: sie sollen bald diese, bald jene Gegend betreffen und auf diese Weise das Auftreten horizontal gelagerter Meeressedimente hoch auf dem Festland veranlassen. Aber alle diese Änderungen sollen nur gering sein, so daß nie ein Teil der heutigen Festländer Tiefsee gewesen wäre, und daß die Sockel der Festländer, wenn auch stellenweise vom Meer überflutet, stets untermeerische Höhen gebildet hätten. Auch die Ozeane werden von dieser Seite als permanent angesehen. Namentlich die landfernen Tiefseegebiete sollen niemals ihre ozeanische Lage verändert haben.

Das Hauptargument dieser Auffassung bildet die Natur der Schichtgesteine. In einem späteren Kapitel soll gezeigt werden, daß die Massen von Sand, Schlamm, überhaupt von Sinkstoffen, die ins Meer gelangen, nicht weit von der Küste zur Ablagerung kommen; in größere

Entfernung vom Lande geraten sie nicht, dort finden wir nur kalkige und kieselige Absätze, die durch die Panzer-, Skelett- und Schalenteile von Tieren und Pflanzen gebildet werden. Die größten Tiefen endlich werden von überaus feinem, rotem Schlamm und von Radiolarienerde eingenommen. Der erstere besteht wesentlich aus den feinsten Teilen vulkanischer Aschenausbrüche und aus Meteorstaub des Weltraumes und enthält häufig Haifischzähne, Schädelknochen von Walen und Mangankonkretionen; die letztere ist dem roten Thon verwandt, unterscheidet sich aber von diesem durch außerordentlichen Reichtum an winzigen Kieselschälchen der Radiolarien und an Nadeln von Kieselschwämmen. Ein großer Teil der Schichtgesteine des Festlandes, die in den heutigen Meeren einen Gürtel von durchschnittlich 20, in den äußersten Fällen 50 geogr. Meilen um die Festländer bilden, gehört ohne Zweifel der ersten Gruppe an; aber daneben fehlen auf dem trockenen Lande durchaus nicht Gesteine, die sich weiter von der Küste entfernt und in tiefem Wasser abgesetzt haben müssen. Die weiße Schreibkreide, die Jurakalke mit Schwämmen, Cephalopoden und Brachiopoden, wie sie in der Ostschweiz, in Schwaben, Franken ꝛc. auftreten, die mannigfachen Ammonitenkalke der mesozoischen Bildungen der Alpen und Karpathen und eine Menge anderer Gesteine gehören jener tieferen Region an, die vorwiegend durch Organismen gebildete Absätze beherbergt. Namentlich aber müssen die Hornsteinschichten der mesozoischen Formationen, besonders des alpinen Jura, hierher gerechnet werden, denn die mikroskopische Untersuchung dieser Gesteine hat gezeigt, daß sie wesentlich aus Radiolarienskeletten und Schwammnadeln zusammengesetzt sind und sehr gut der Radiolarienerde entsprechen, die in den heutigen Meeren in noch größeren Tiefen vorkommt, als selbst der rote Tiefseeschlamm. Die Hornsteinschichten der Alpen und Karpathen stehen stets in inniger Verbindung mit Ammonitenkalken und mit roten Schiefern, welche die unter dem Namen Aptychen bekannten Schalenteile der Ammoniten in reicher Menge enthalten. Diese Aptychenschiefer haben sich wahrscheinlich in sehr großer Tiefe abgelagert, in der eine Auflösung der Ammonitenschalen erfolgte, während das viel widerstandsfähigere Gewebe der Aptychen selbst nicht zerstört werden konnte. So häuften sich die Aptychen in den roten Schiefern in derselben Weise und aus denselben Ursachen an wie die Haifischzähne und die festesten Walfischknochen im roten Thon der Jetztzeit. Daß wir nun die radiolarienreichen Hornsteine der mesozoischen Formationen stets von Schichten begleitet finden, die nur in tiefem Meer, niemals aber mit Seichtwasserabsätzen entstanden sein können, muß uns in dem Schlusse nur bestärken, daß die Hornsteine thatsächlich Bildungen großer, ja wahrscheinlich der größten Meerestiefen sind.

Jedenfalls geht aus dem Gesagten hervor, daß der Hauptbeweisgrund für die volle Beständigkeit der kontinentalen und ozeanischen Regionen nicht in seinem ganzen Umfang richtig ist, und daß wir Ablagerungen aus großen Meerestiefen auf dem Festland kennen.

Wir haben bei der Besprechung dieser Tiefseebildungen nur ihr Vorkommen in den Alpen und Karpathen erwähnt. In Wirklichkeit können wir sie aber weit über die Grenzen dieser Gebirge hinaus verfolgen. Im gesamten Mediterrangebiet, soweit sich die Ketten des Alpensystems ausdehnen, sind diese Gesteine verbreitet, und sie sind bis in den Himalaja und nach Tibet nachweisbar. Anderseits kennen wir in Südamerika mesozoische Ablagerungen, deren Übereinstimmung mit den europäischen schon seit lange die Aufmerksamkeit der Geologen erregt, und auch aus Kalifornien sind solche Ablagerungen bekannt geworden. Auf Jamaica erscheint die Oberkreide in derselben Ausbildung wie im Mediterrangebiet Europas, und ebenso zeigt das ältere Tertiär in Westindien diesen Typus. So gelangen wir zu der Kenntnis eines großen alten Ozeans, „Tethys“[1], der sich quer zur Richtung des heutigen Atlantischen Meeres aus Asien über Europa

[1] Von E. Sueß so benannt nach Tethys, der Schwester und Gemahlin des Oceanus.

nach Amerika erstreckte. Nach der Beschaffenheit der Sedimente zu schließen, befanden sich entlang dem Kettengebirgszug des Alpensystems die größten Tiefen, die denen der heutigen Ozeane nicht nachstanden. In der Zeit der Trias- und Juraformation, die wir schon im Vorhergehenden als eine Periode zunehmender Meeresbedeckung und positiver Verschiebung der Strandlinie kennen gelernt haben, scheint die Tiefe der Tethys am größten gewesen zu sein; Korallenriffe nach Art der modernen Riffe des Stillen und Indischen Ozeans standen in kräftiger Entwickelung, und daneben wurden in großer Tiefe die Radiolarienerde und der ammonitenreiche Foraminiferenschlamm abgesetzt, die heute als Hornstein und Ammonitenkalk willkommene Gegenstände der Forschung bilden. In der Kreide- und Tertiärzeit wurden die Sedimente jenes uralten Ozeans als gefaltete Alpenketten dem Kontinent einverleibt, der Flächenraum der Tethys schrumpfte ein, und das heutige Mittelmeer ist nur ihr verkümmerter Rest. Die wiederholten Niederbrüche des erst gebildeten Gebirges, die wir bei der Besprechung der Alpen kennen gelernt haben, schufen Raum für eine neuerliche Ausbreitung des Tethys-Ozeans, der auf diese Art eine ebenso interessante wie verwickelte Geschichte erhielt. Wir können hier nicht näher auf diesen Gegenstand eingehen, dessen gebührende Würdigung eine genaue Bekanntschaft mit den einzelnen geologischen Formationen und deren Verbreitung voraussetzt; nur einer Episode aus der jüngsten Vergangenheit des Mittelmeers wollen wir ganz kurz gedenken, weil wir dabei an die vorhergehenden Bemerkungen über die jugendliche Erweiterung des Mittelmeers anknüpfen können.

In der Pliocänzeit, der jüngsten der vier Hauptperioden der Tertiärformation, bildete das Ägeische Meer und die Umgebung von Kreta ein dem Tethys-Ozean abgerungenes Festland (s. S. 372). Zahlreiche Süßwasserbecken mit einer überreichen Molluskenfauna waren hier ausgebreitet, und ein mächtiger Strom brachte massenhaft Geschiebe von Kleinasien nach dem heutigen Rhodus. Erst in der nachdiluvialen Zeit ist dieses Land wieder niedergebrochen, und jetzt sind zwischen den als Inseln stehen gebliebenen Pfeilern Tiefen von 2000 m vorhanden; ja, das österreichische Schiff „Pola" fand in der Nähe der südwestlichen Küste Kleinasiens sogar eine Tiefe von 3591 m.

Von der Beschaffenheit der Gesteine in den Alpen ausgehend, konnten wir ein ehemaliges uraltes Meer nachweisen, das zum Festland wurde und später wieder in einem kleinen Teile niedergebrochen ist. Wir wenden uns nun den Ozeanen der Gegenwart zu und ziehen zunächst den Charakter der Sedimente an den Küsten in Betracht. In Nordamerika hat man bemerkt, daß die sandig-thonigen Absätze der paläozoischen Formationen in der Nähe der atlantischen Küsten, im östlichen Kanada, in den Appalachen ꝛc. die größte Mächtigkeit aufweisen, in westlicher Richtung dagegen abnehmen und kalkigen Bildungen weichen. Dieser Umstand wurde mit Recht dahin gedeutet, daß sich ostwärts, also in der Gegend des heutigen Atlantischen Ozeans, das Festland befunden haben müsse, auf dessen Kosten jene klastischen[1] Gesteine gebildet wurden. Wir kennen aber noch andere Verhältnisse, die auf den ehemaligen Bestand eines solchen Festlandes hinweisen. Auf den Orkney-Inseln, den Shetlands-Inseln, auf Spitzbergen, an der Nordküste von Lappland, in Schottland und England, auf Grönland und an der Küste von Neubraunschweig ist die Devonformation durch den sogenannten alten roten Sandstein oder das Old Red vertreten. Dieser rote Sandstein enthält schwergepanzerte Fische und hier und da Landpflanzen, niemals aber Spuren von Meerestieren; er ist also gewiß als eine außermeerische Bildung anzusehen, und es muß in paläozoischer Zeit ein weit ausgedehnter Kontinent bestanden haben, auf dem sich die Ablagerung des alten roten Sandsteins vollziehen konnte. Dieser „Atlantis"

[1] Als „klastisch" bezeichnet man Gesteine, die durch Zusammenschwemmung des Zerreibsels anderer Gesteine gebildet werden, wie z. B. Sandstein, Sand, Thon, Konglomerat.

genannte Kontinent behauptete sich bis in eine geologisch jugendliche Zeit. Wir schließen dies aus dem gleichartigen Vorkommen von tertiären Sandsteinen mit Kohlenflözen und Pflanzenresten zwischen den Basaltdecken von der Insel Disco und der Sabine-Insel in Ostgrönland, von Island und den Färöern. Der größte Teil der Atlantis liegt heute unter tiefem Meere begraben, nur einzelne Bruchstücke, deren größtes Grönland ist, haben sich über dem Meeresspiegel erhalten.

Eine ähnliche Rolle, wie der alte rote Sandstein im nordatlantischen, spielen im indisch-afrikanischen Gebiet die Gondwána-Schichten der Permformation und der Trias. Auch diese bilden eine außerordentlich mächtige Folge von Sandsteinen mit eigentümlichen Landpflanzen und Kohlenflözen sowie mit fremdartigen Reptilien, und sie treten mit denselben Merkmalen einer nichtmarinen Bildung in den Tafelbergen von Südafrika, auf Madagaskar, in Indien und in Australien auf. Die Gondwána-Schichten streichen an das Meer und sind hier abgebrochen, wie das Old Red im Nordatlantischen Gebiet und die jungtertiären Süßwasserkalke auf den Inseln des Ägeischen Meeres. Wir fragen uns, wo denn die Ufer des großen Süßwasserbeckens der Gondwána-Schichten gelegen sind, und müssen zur Beantwortung dieser Frage annehmen, daß einstmals ein großer Kontinent, man nennt ihn das Gondwána-Land, von Indien über Madagaskar nach Südafrika gereicht habe. Als echte, von Brüchen umgrenzte Horste geben diese Gebiete Kunde von der Beschaffenheit der gewaltigen Landmassen, die jetzt den Boden des Indischen Ozeans bilden.

Vertreter der Lehre von der Permanenz der Kontinente und Ozeane haben betont, daß die Küstenlinie keineswegs für die wahre Gestalt der Kontinente maßgebend sei. Diese setzen sich vielmehr unter dem Meeresspiegel eine Strecke weit gegen den Ozean fort, und erst in einer gewissen Entfernung von der Küstenlinie stürzen die Kontinentalsockel unvermittelt zur Tiefsee hinab. Auf diese Weise sei ein sehr scharfer Gegensatz zwischen den ozeanischen Tiefbecken und den Kontinenten ausgesprochen, und dies zwinge zu der Annahme, daß beide Gebiete ihre gegenwärtige Lage und Größe ohne wesentliche Änderungen seit unendlich langer Zeit behauptet haben müßten. Aber gerade dieses unvermittelte Abbrechen ist es ja, was erwartet werden muß, wenn Ozeane durch Niederbruch des Festlandes entstehen. Das Gefüge der Festländer beweist, wie wir gesehen haben, in unzweideutiger Weise, daß die Ozeane Bruch- und Senkungsgebiete sind, und der Nachweis des Steilabfalles zwischen den Kontinentalsockeln und dem Tiefseeplateau, wie er durch die erfolgreichen Tiefseeforschungen der letzten Jahrzehnte geliefert wurde, ist gerade dieser Anschauung durchaus günstig.

Ferner wurde zu gunsten der Permanenz der Ozeane auf das gleichmäßige, aller Unebenheiten entbehrende Relief des Tiefseebodens hingewiesen. Wir stehen mit der Erforschung des Tiefseereliefs offenbar erst im Beginn, und es wäre verfrüht, hierüber ein endgültiges Urteil abgeben zu wollen. Es scheint aber aus den Ergebnissen der neueren Tiefseeforschungen hervorzugehen, daß die Behauptung des völlig ebenen Bodens der Tiefsee sehr stark übertrieben ist. In manchen Teilen der Tiefsee wurden nicht unerhebliche Höhenunterschiede gefunden. Ferner ist zu bedenken, daß manche Festländer, namentlich die Tafellandschaften, auch nur unbedeutende Höhenunterschiede aufweisen und endlich die Ablagerung von Sedimenten, selbst wenn sie nur wenig mächtig sind, eine ausgleichende Wirkung ausüben muß.

Es mag sein, daß einzelne Teile der Weltmeere, besonders des Stillen Ozeans, seit jeher von Wasser bedeckt waren; gewiß aber ist die Behauptung von der allgemeinen Permanenz der Kontinente und der Ozeane nicht haltbar. Durch untrügliche Beweise ist erhärtet, daß sowohl ozeanische Becken durch Zusammenbruch von Kontinenten entstanden sind, als auch daß die Ablagerungen tiefer uralter Ozeane dem Festland einverleibt wurden.

6. Wirkung von Waſſer und Luft.

Inhalt: Menge des Waſſers. — Grundwaſſer, Quellen und Brunnen. — Geiſer und Schlammvulkane. — Chemiſche Wirkung des Waſſers. — Verwitterung. — Eroſion. — Bergſtürze und Erdrutſchungen. — Wildbäche. — Thalbildung. — Cañons. — Thalbildung im Faltengebirge. — Abtragung der Gebirge. — Karſtbildung. — Lößlandſchaft. — Thalterraſſen. — Verlegung der Flußläufe. — Ablagerungen aus fließendem Waſſer. — Zerſtörende Wirkung des Meeres. — Wirkung des Eiſes. — Die Gletſcher und ihre Bewegung. — Eroſion und Transport durch Gletſcher. — Entſtehung der Seen. — Eisberge. — Wirkung des Windes. — Wüſtenbildung. — Geſamtwirkung der Denudation.

Menge des Waſſers.

Wir haben die geologiſchen Vorgänge kennen gelernt, deren letzte Urſache in der Erkaltung und Zuſammenziehung der Erde gegeben iſt. Ganz andere Erſcheinungen finden wir bei den Veränderungen, die durch die Einwirkung von Sonne und Mond auf unſerem Planeten hervorgerufen werden. Übten jene ihre Hauptwirkung auf die feſten Maſſen aus, und war das Ergebnis weſentlich eine Vermehrung und Verſtärkung der Oberflächenverſchiedenheiten, ſo wirken im Gegenteil Sonne und Mond vorzugsweiſe auf die beweglichen Hüllen der Erde, auf Waſſer und Luft, und faſt nur mittelbar durch dieſe auf die Geſteine; das Reſultat ihrer Thätigkeit beſteht weſentlich in einer ſteten Nivellierung und Ausgleichung der Höhenunterſchiede: ſie zerſtören die Geſteine und führen die Zerſtörungsprodukte nach abwärts.

Das Waſſer, der wichtigſte Faktor bei dieſer Art von Veränderungen, iſt ſeiner Hauptmaſſe nach in den Meeren konzentriert; aber dieſe großen Anſammlungen bilden den Ausgangspunkt für eine ſtete Wanderung des flüſſigen Elements. Fortwährend findet an ihrer Oberfläche unter dem Einfluß der Sonnenwärme eine Verdunſtung ſtatt; die Waſſerdämpfe ſteigen in die Atmoſphäre empor, verdichten ſich und fallen als Niederſchläge, als Regen, Schnee, Hagel, Tau und Reif, wieder herab. Ein Teil davon gelangt unmittelbar ins Meer zurück, ein anderer fällt auf feſtem Lande nieder und geht hier mannigfaltigen Schickſalen entgegen. Eine große Menge kehrt ſofort durch Verdunſtung wieder in die Atmoſphäre zurück, Gletſcher und Inlandeismaſſen binden bedeutende Mengen, andere dienen zum Unterhalt des Lebensprozeſſes von Pflanzen und Tieren; der Reſt fließt entweder unmittelbar an der Erdoberfläche ab und in Bächen und Flüſſen dem Meere oder den Binnenſeen zu, oder er verſickert in die Tiefe, in das Netz der in Spalten und in Hohlräumen zirkulierenden Gewäſſer, von denen aus die Geſteine mit Bergfeuchtigkeit verſehen und die Quellen geſpeiſt werden. Im großen und ganzen geht ein Kreislauf in der Weiſe vor ſich, daß das Meer durch Verdunſtung Waſſer verliert und dieſes auf größeren oder geringeren Umwegen wieder zu ſeinem Urſprungsort zurückkehrt. Allerdings wird ein gewiſſer Anteil, der namentlich von Geſteinen abſorbiert wird, dem Kreislauf vollſtändig entzogen, dafür aber findet ein ſteter Erſatz durch die Exhalationen von Vulkanen und analoge Vorgänge aus dem Inneren der Erde ſtatt.

Wenn wir uns von der Bedeutung dieſer Erſcheinungen eine richtige Vorſtellung machen wollen, ſo müſſen wir vor allem wenigſtens annähernd zu erfahren ſuchen, wie groß die Waſſermaſſen ſind, um die es ſich dabei handelt. Der Rauminhalt des Meeres und ſeine durchſchnittliche Tiefe ſind mehrfachen Berechnungen unterzogen worden, die namentlich ſeit den in neuerer Zeit gemachten zahlreichen Lotungen in großen Meerestiefen einigermaßen genau ſind. Krümmel, dem wir eine der beſten Schätzungen dieſer Art verdanken, berechnet die

Durchſchnittstiefe des Meeres zu 1880 Faden oder 3440 m, alſo rund zu 1/2 geogr. Meile. Es ergibt ſich daraus die geſamte Waſſermaſſe des Meeres zu 1285 Millionen Kubikkilometer oder etwas mehr als 3 Millionen Kubikmeilen; das Meerwaſſer macht daher etwa 1/843 des Volumens, aber wegen ſeiner geringen Dichte nur 1/4540 des Gewichtes der Erde aus. Die von anderen Gelehrten in neuerer Zeit gefundenen Werte für die Durchſchnittstiefe des Meeres ſchwanken zwiſchen 3438 und 4260 m.

Die Menge des Waſſers, die als Dunſt dem Meer entſteigt, aber als Regen oder Schnee unmittelbar wieder dahin zurückkehrt, iſt vom geologiſchen Standpunkt aus wenig wichtig; von um ſo größerer Bedeutung iſt die Menge, die auf das Feſtland niederfällt. Man nimmt gewöhnlich an, daß die Niederſchläge auf dem Feſtland im Durchſchnitt ungefähr 1 m im Jahre betragen. Suez hat nur 3 cm jährlich, während die Regenmenge von Cerra Punji in Aſſam, wo der indiſche Südweſtmonſum auf die Himalajakette trifft, 14 m überſteigt; in Europa beträgt die Regenmenge nur an den Gebirgsrändern und an den höher im Norden gelegenen Küſtenſtrichen, die unter dem Einfluß des Golfſtromes ſtehen, mehr als 1 m. Mag ſie auch ungenau ſein, ſo entfernt ſich doch wohl die Annahme eines Meters als Durchſchnitt der Regenmenge nicht weit von der Wahrheit. Würde dieſer ganze Betrag durch Flüſſe dem Meere wieder zugeführt, ſo ließe ſich ungefähr angeben, wieviel Zeit nötig iſt, auf dieſem Wege das geſamte Meerwaſſer zu erneuern: wenn man die Tiefe des Ozeans und das Verhältnis ſeiner Oberfläche zu der der Kontinente und Inſeln berückſichtigt, ſo findet man, daß hierzu annähernd 9500 Jahre erforderlich wären; da jedoch ſehr viel von den Niederſchlägen ſofort wieder verdunſtet, kann man annehmen, daß in Wirklichkeit mindeſtens 15,000 Jahre dazu erforderlich ſind. Bei dieſen Schätzungen müſſen wir uns aber gegenwärtig halten, daß ſie für den jetzigen Augenblick gelten; wir wiſſen nicht, ob ſich die Menge des Meerwaſſers gleichbleibt, oder ob es eine langſame Zu- oder Abnahme erfährt.

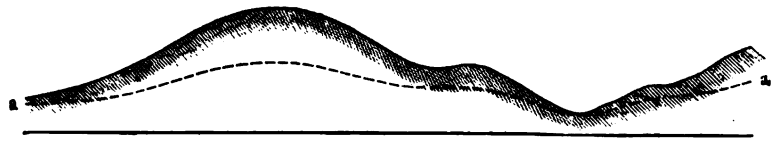
Grundwaſſer, Quellen und Brunnen.

Von der Niederſchlagsmenge, die ein Gebiet betrifft, kehrt im Durchſchnitt ein Drittel durch Verdunſtung ſofort wieder in die Atmoſphäre zurück, ein zweites Drittel läuft an der Erdoberfläche ab, das dritte Drittel ſickert in die Tiefe. Natürlich iſt das nicht für alle Gebiete richtig: die überaus geringen Mengen von Regen und Tau, die die Sahara befeuchten, gehen zum größten Teil durch Verdunſtung verloren, in den zerklüfteten Kalkgebieten des Karſtes nimmt eine unverhältnismäßig große Menge den Weg in die Tiefe, und in den außerordentlich regneriſchen Gebieten von Aſſam am Südfuße des öſtlichen Himalaja mit ſeiner übergroßen Menge mächtiger Ströme fließt die Hauptmaſſe des Regenwaſſers an der Oberfläche ab. Aber im großen und ganzen mag jenes Verhältnis, wenn auch nur annäherungsweiſe, als richtig gelten.

Die verſickernden Waſſer ſind in ihrem Laufe auf die ſich ihnen bietenden Wege angewieſen. Es gibt zwar kein Geſtein, das für Waſſer gar nicht durchdringbar wäre; aber viele laſſen das Waſſer doch nur in ſehr geringem Grade durch, ſo daß ſie ſeinem Vordringen Schranken ſetzen, während ihm andere mit Leichtigkeit Durchtritt gewähren. Man unterſcheidet daher durchläſſige (permeable) und undurchläſſige Geſteine. Loſe Geröll- und Sandmaſſen, verfeſtigte Konglomerate und weitaus die meiſten Sandſteine ſind durchläſſig, während Thongeſteine im höchſten Grade undurchläſſig oder waſſerdicht ſind. Feſte Felsgeſteine gewähren dem Waſſer in der Regel nur geringen Durchtritt, wenn ſie nicht bedeutende Zerklüftung und Spaltenbildung zeigen, wie das faſt bei allen Kalkſteinen der Fall iſt, die darum auch beinahe durchweg in hohem Grade durchläſſig ſind.

Wo unmittelbar an der Oberfläche ſehr ſtark durchläſſige Geſteine anſtehen, ſickert das niederfallende Waſſer faſt ganz ein, ſoweit nicht die Humusdecke und das Vegetationskleid ein Hindernis bilden. Es nimmt ſeinen Weg in die Tiefe, bis es an eine undurchläſſige Schicht gelangt, über der es ſich ſammelt, und deren Neigung es beim Abfließen folgt. Da auch permeable Geſteine doch einen viel weniger freien Abzug gewähren, als er an der Oberfläche ſtattfindet, ſo iſt der Ablauf dieſer Grundwaſſer auch ein entſprechend langſamerer, und ihr Spiegel ſchließt ſich mehr oder weniger den Formen der Oberfläche an (ſ. untenſtehende Abbildung). Häufig begegnet dieſes von oben eingedrungene Grundwaſſer den Infiltrationen, die von den Flüſſen aus ſeitwärts ſtattfinden, und gerät ſo, ohne die Oberfläche ſelbſtändig, als Quelle, wieder erreicht zu haben, in den Fluß.

Es iſt bekannt, von wie großer Bedeutung das Grundwaſſer für den Menſchen iſt. Wo die Verhältniſſe günſtig ſind, ſtellt es eine ununterbrochene Waſſerfläche in größerer und geringerer Tiefe dar, deren urſprünglich vielleicht getrübte Flüſſigkeit durch die Filtration zwiſchen den Bodenbeſtandteilen geklärt worden iſt. Bei einfachen Brunnengrabungen bringt man bis auf dieſes Niveau herab und befördert nun das Waſſer durch Pump- oder Schöpfvorrichtungen empor. Anderſeits iſt der Stand des Grundwaſſers namentlich für die Geſundheitsverhältniſſe von größter Wichtigkeit; wo zahlreiche Menſchen beiſammenwohnen, ſickern bei Mangel an geeigneten Gegenvorkehrungen maſſenhafte Verunreinigungen in die Tiefe und verjauchen das Grundwaſſer; namentlich die von dieſem durchfeuchteten, nicht aber ganz durchtränkten Regionen gelten vielfach als Brutſtätten zahlreicher Krankheiten.



Verlauf des Grundwaſſerſpiegels (aa) unter welligem Terrain.

Ein großer Teil des in die Tiefe geſickerten Waſſers kommt in den Quellen wieder zum Vorſchein, die lediglich das Waſſer der atmoſphäriſchen Niederſchläge führen. Die Richtigkeit dieſer Auffaſſung vom Weſen der Quellen wird in ſchlagender Weiſe dadurch bewieſen, daß die Reichhaltigkeit der Quellen von der Menge des Regens und Schnees abhängig iſt, wie das ein einzelnes Beiſpiel zeigen mag. Die Stadt Wien bezieht ſeit dem Jahre 1873 ihren Waſſerbedarf aus einigen ſehr reichen Quellen, die in den Alpen großenteils am Fuße der gewaltigen Kalkplateaus des Schneeberges und der Raxalpe im Höllenthal oberhalb Reichenau auftreten. Jeder ſtärkere Regenfall, beſonders aber die Schneeſchmelze auf den Höhen machen ſich in der Waſſermenge der Quellen bemerkbar. Den eigentlich nachhaltigen Vorratsſtock, der die Speiſung in trockener Sommer- und Herbſtzeit ſichert, liefern mächtige trichterförmige oder keſſelartige Einſenkungen auf jenen Kalkhöhen, die ſich im Winter mit Schnee füllen. In dieſe Keſſel fällt nicht nur die normale Schneemenge, ſondern die Winterſtürme treiben von den benachbarten Höhen gewaltige Schneemaſſen hinein, die ſich hier teilweiſe ſogar bis zum nächſten Winter erhalten. In ſehr regenarmen Sommern hängt dann der Reichtum der Quellen von der Menge dieſer Anhäufungen ab und zeigt ſich von der ſommerlichen Trockenheit weit weniger beeinträchtigt nach einem ſchneereichen als nach einem ſchneearmen Winter.

Dieſer innige Zuſammenhang zwiſchen der Ergiebigkeit der Quellen und dem Grundwaſſerſtand einerſeits und der Niederſchlagsmenge anderſeits läßt ſich in zahlloſen Fällen nachweiſen; es gibt ziemlich wenige Quellen, die in der trockenen Jahreszeit nicht ſpärlicher flöſſen als in der naſſen und während der Schneeſchmelze. Trotzdem ſind mehrfach andere Meinungen aufgetaucht. So hat der bekannte Geolog Otto Volger die allerdings an ſich nicht neue Anſicht aufgeſtellt, daß

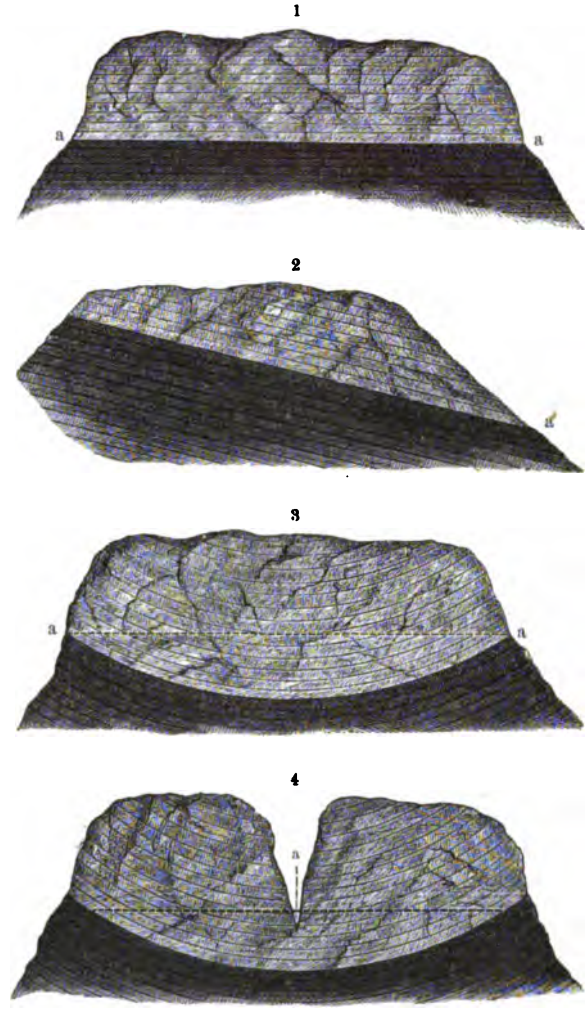
„kein Wasser des Erdbodens vom Regenwasser herrührt". Er stützt sich dabei zunächst auf die Thatsache, daß selbst bei heftigen Regengüssen das Wasser nicht tief in das Erdreich eindringt, und meint, daß, wenn überhaupt ein so hoher Grad von Durchlässigkeit bestünde, Seen und Meere schon längst in die Tiefe gesunken sein und ihre Becken trocken liegen müßten. Ferner soll die Verdunstung von der Erdoberfläche das Jahr hindurch mehr betragen als die Summe der atmosphärischen Niederschläge; es muß also das Wasser von Regen und Schnee verdunsten, ohne in die Tiefe dringen zu können. Diese Schwierigkeiten haben den Versuch einer anderen Erklärung veranlaßt: Da die Temperatur des Bodens in einer gewissen Tiefe fast genau der mittleren Jahrestemperatur der Atmosphäre an dem betreffenden Orte entspricht, also im heißeren Teile des Jahres kälter als die Luft ist, so wird diese, wenn sie in der Erde zirkuliert und in die Tiefe gelangt, abgekühlt und der Wasserdampf, den sie enthält, niedergeschlagen; durch diesen Vorgang sollen Grundwasser und Quellen gespeist werden.

Was nun zunächst den Einwurf betrifft, daß bei bedeutender Durchlässigkeit des Bodens Seen und Meere verschwinden müßten, so ist er wohl belanglos: die Sedimente, die sich am Boden dieser Wasseransammlungen absetzen, bilden im Laufe der Zeit eine undurchlässige Decke, die das weitere Versinken des Wassers hindert; wo das aber nicht der Fall ist, sind eben alle Teile bis zur nächsten undurchlässigen Schicht schon längst durchwässert und ein Gleichgewichtszustand hergestellt, so daß kein erhebliches neues Abströmen mehr stattfindet. Die weitere Angabe, daß das Wasser überhaupt nicht in den Boden eindringe, ist allerdings richtig, wenn man nur das Kulturland in flachen Gegenden berücksichtigt. Der Pflanzenwuchs verbraucht in der That so gewaltige Wassermengen, daß der bewachsene Boden bis in ansehnliche Tiefen austrocknet und die Ansammlung von Grundwasser während der Vegetationsperiode erschwert oder selbst gänzlich verhindert wird. Dagegen sinkt das Regen- oder Schmelzwasser auf kahlen Flächen, also in unseren Gegenden namentlich im ersten Frühjahr und im Herbst, ohne Schwierigkeit zur Tiefe, wie durch Versuche und Beobachtung nachgewiesen ist.

Zur Bildung von Grundwasser auf dem Wege der Kondensation wäre das Eindringen ungeheurer Luftmassen in den Boden erforderlich, und es würde bei fortwährender Verdichtung großer Mengen von Wasserdampf so viel Wärme frei werden, daß jede weitere Kondensation von selbst aufhören müßte. O. Volger verlegt den Vorgang hauptsächlich in die heiße Jahreszeit, aber gerade im Sommer ist das Eindringen der Luft in den Boden sehr erschwert, weil da die Luft in der Höhe wärmer und daher leichter ist als im Boden. Das umgekehrte Verhältnis herrscht im allgemeinen im Winter, und man sollte daher meinen, daß diese Jahreszeit den Luftaustausch zwischen Boden und Atmosphäre begünstigen müßte. In der That hat man durch Versuche gefunden, daß bei feinkörniger Bodenbeschaffenheit im Winter mehr Wasser aus dem Boden absickert, als ihm durch Niederschläge zugeführt wird, so daß dieser Überschuß wohl auf Verdichtung des atmosphärischen Wasserdampfes im Boden zurückgeführt werden muß.

Hat sich so gezeigt, daß die Volgersche Anschauung ein Körnchen Wahrheit enthält, so bleibt doch wegen der geringen Menge des Kondensationswassers der Satz im allgemeinen aufrecht erhalten, daß das in der Tiefe zirkulierende Wasser von atmosphärischen Niederschlägen herrührt. Wir wollen dieses Wasser auf seinen Wegen verfolgen und betrachten, wo und unter welchen Verhältnissen es wieder an die Oberfläche kommt, d. h. wo und wie sich Quellen bilden. Nichts kann einfacher sein als die theoretischen Prinzipien dieser Vorgänge; dafür aber ist die Art und Weise des Auftretens der einzelnen Erscheinungen lokal oft äußerst kompliziert und schwierig zu entziffern. Mag sich das unterirdische Wasser nun als Grundwasser in einer durchlässigen Schicht oder frei in Klüften oder Hohlräumen bewegen, immer folgt es natürlich dem Zuge der Schwere, es fließt nach abwärts, und wo es nun auf diesem seinem Laufe

eine Kommunikation mit der Oberfläche findet, die es nach den einfachen Gesetzen des Wasserlaufes erreichen kann, die aber tiefer liegt als der unterirdische Wasserspiegel, da tritt es als Quelle hervor. Wir wollen einen möglichst einfachen Fall annehmen: Eine Schicht durchlässigen Sandes oder Kalkes liegt horizontal auf einem wasserdichten Thon; die Sickerwasser werden hier bis auf die Thonoberfläche niedersinken und sich da als Grundwasser sammeln. Ist nun etwa an einem Berggehänge die Grenze zwischen Thon und Sand aufgeschlossen, so werden längs dieser Grenzlinie Quellen auftreten; wir finden hier ein Wasserniveau (s. nebenstehende Abbildung, Fig. 1). Diese Erscheinung stellt sich unter normalen Verhältnissen mit solcher Regelmäßigkeit ein, daß man z. B. bei geologischen Kartenaufnahmen oft die Grenze zwischen den beiderlei Gesteinen lediglich nach dem Auftreten der Quellen einzeichnen kann, wenn reiche Vegetations- und Humusbedeckung eine direkte Beobachtung verhindern. Ist eine Neigung der Schichten vorhanden, so wird das Quellenniveau nicht überall gleichmäßig auftreten, wo die Grenze zwischen durchlässigen und dichten Gesteinen zu Tage ausgeht, sondern, weil das Grundwasser der Schichtenneigung entsprechend abläuft, nur da, wo ein solcher Aufschluß in der Richtung des Fallens liegt; es entstehen dann Schichtquellen (s. nebenstehende Abbildung, Fig. 2). Weitere Komplikationen kommen natürlich bei stärkeren Störungen der Schichten vor; bilden diese z. B. eine Mulde, so werden sich in deren Innerem über der wasserdichten Schicht die Grundwasser sammeln, bis sie an den Muldenrändern über deren obere Grenze als Überfallsquellen ablaufen können (s. obenstehende Abbildung, Fig. 3). Anderseits wird ein Thal, das in eine solche Mulde bis in das Grundwasserniveau einschneidet, an seinen beiden Seiten von Quellen, Thal- oder Spaltquellen, begleitet sein (s. obenstehende Abbildung, Fig. 4).



Verschiedene Arten von Quellbildungen. Oben durchlässiges, unten undurchlässiges Gestein. — 1) Gleichmäßiges Quellenniveau. — 2) Schichtquelle. — 3) Überfallsquellen. — 4) Thal- oder Spaltquelle. — a a) Quellen.

Wir haben bis jetzt den sehr einfachen Fall vorausgesetzt, daß nur eine durchlässige Schicht auf einer wasserdichten aufliegt; aber sehr oft liegt eine permeable Schicht streckenweise an der Oberfläche bloß, wo sie sich mit Wasser durchtränkt, und senkt sich im weiteren Verlauf in die Tiefe, wo sie sowohl nach oben als nach unten von undurchlässigen Gesteinslagen begrenzt sein

mag; sie bildet dann ein Wasserniveau, und wo immer dieses in größerer Tiefe wieder eine Kommunikation nach außen findet, wird es seinen Gehalt in Quellen entleeren.

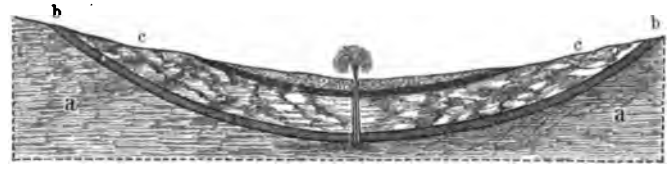
Je komplizierter die Lagerungsverhältnisse werden, um so verwickelter wird auch die Beurteilung der Wasserführung der Schichten, namentlich wenn sich das Wasser nicht als zusammenhängender Spiegel in einer permeablen Gesteinslage ausbreitet, sondern in Klüften oder in Höhlen verläuft. Es würde zu weit führen, auf Einzelheiten einzugehen, so groß auch die praktische Bedeutung dieses Gegenstandes ist; es verhält sich hier wie in so vielen anderen Punkten: das geübte Auge des Geologen wird auch in schwierigen Fällen rasch und richtig die Anwendung der einfachen Gesetze unter sehr komplizierten Umständen von selbst herausfinden, während auch die ausführlichste Anweisung dem nichts nützt, der nicht den inneren Bau einer Gegend aus den Erscheinungen der Oberfläche erschließen gelernt hat. Unter allen Verhältnissen handelt es sich nur um Feststellung des geologischen Baues und um Anwendung der einfachen Gesetze des Wasserlaufes auf diesen Bau. Was darüber hinausgeht, hat nicht den geringsten Wert, und wenn gewisse Quellenpropheten mit geheimnisvollen Hilfsmitteln verborgene Wasseradern aufsuchen, so ist das im besten Falle eine charlatanhafte Verbrämung des einzig richtigen Vorgehens, darauf berechnet, dem Laien auf diesem Gebiet zu imponieren.

In den meisten Fällen handelt es sich darum, den Punkt zu bezeichnen, wo am zweckmäßigsten, mit den geringsten Kosten und mit der meisten Aussicht auf Ergiebigkeit, der Grundwasserspiegel oder überhaupt ein wasserführendes Niveau erreicht werden kann, oder die Mittel anzugeben, wie die Reichhaltigkeit einer vorhandenen Quelle vermehrt oder gesichert werden kann. Einen ganz eigentümlichen Fall der Wasserbeschaffung bildet die Bohrung sogenannter „artesischer Brunnen", die in Europa zuerst in der französischen Landschaft Artois im 12. Jahrhundert ausgeführt worden sind und daher ihren Namen führen. Das Prinzip der artesischen Brunnen, die übrigens in China und in den Oasen der Libyschen Wüste schon seit sehr langer Zeit im Gebrauch sind, besteht darin, daß man ein Loch senkrecht in die Tiefe stößt, bis man auf eine von undurchlässigen Gesteinen bedeckte Wasserschicht trifft, wo sich das Wasser unter bedeutendem Druck befindet. Sobald nun der Bohrer die überliegenden Massen durchstoßen hat und in das Wasserniveau eindringt, steigt das Wasser infolge des Druckes in dem Bohrloch empor und erhebt sich oft noch als Springbrunnen über die Mündung. Wie erwähnt, wurden die ersten derartigen Unternehmungen schon früh ausgeführt, immerhin aber blieb die Anwendung dieser Methode eine ziemlich beschränkte. So kam es, daß der außerordentlich günstige Erfolg einer Bohrung in Grenelle bei Paris im Jahre 1842 großes Aufsehen erregte; in einer Tiefe von 547 m wurde das Wasser erreicht, das nun in mächtigem Strahle emporsprang und anfangs 3200 cbm in 24 Stunden lieferte. Seitdem hat man in den verschiedensten Gegenden artesische Brunnen in großer Zahl angelegt, so daß sie jetzt zu den ganz gewöhnlichen Einrichtungen gehören.

Natürlich sind die geologischen Verhältnisse der artesischen Brunnen sehr verschieden je nach dem Bau der Gegend, in der sie angelegt sind. Die Grundzüge der Bedingungen, unter denen sie auftreten, lernen wir auch hier wieder am sichersten kennen, wenn wir den einfachsten Fall ins Auge fassen. Denken wir uns einen weitgedehnten Landstrich von muldenförmigem Bau, wo alle Schichten flach gegen den Mittelpunkt oder die Mittellinie der Mulde einfallen, so werden im Zentrum dieser Gegend die jüngsten Schichten anstehen, gegen außen aber immer ältere Ablagerungen zum Vorschein kommen (s. Abbildung, S. 423). Wo diese an die Oberfläche treten, nehmen sie, soweit sie durchlässig sind, Wasser auf, und dieses läuft, der Neigung der Schichten entsprechend, nach der Mitte der Mulde ab. Liegen nun die permeabeln Ablagerungen unter wasserdichten, so wird, der hohen Lage des Infiltrationspunktes entsprechend, auch in der Mitte der Mulde der nötige Druck herrschen, der das Steigen und Emporquellen bewirkt, sobald

ein Bohrloch die Deckschicht durchstoßen hat. Je nach der Schichtfolge in einer Mulde, wenn mehrere durchlässige Bänke zwischen dichten eingekeilt sind, werden auch mehrere an Ergiebigkeit und Qualität verschiedene Wasserhorizonte untereinander folgen, und man wird dann je nach Umständen das erste, zweite, dritte Wasserniveau anzapfen können.

Die muldenförmige Lagerung der wasserführenden Schicht ist aber kein unbedingtes Erfordernis zur Erreichung artesischen Wassers; dazu genügt oftmals auch einseitiger Druck. Dies ist z. B. der Fall bei dem artesischen Wasser, das bei der Brunnenkatastrophe von Schneidemühl (1893) so große Verwüstungen angerichtet hat. Dieses stammt aus einer mächtigen Grundwasserströmung, die durch das Versinken des Niederschlagswassers im sogenannten baltischen Höhenrücken entsteht und von da südwärts abfließt. Da das Einsickerungsgebiet ungefähr 140—180 m höher liegt als die wasserführende Schicht in Schneidemühl, so ist ein beträchtlicher hydraulischer Druck vorhanden, der den starken Auftrieb des Wassers zu erklären im stande ist. Die Strömung war so stark, daß eine enorme Menge von Sand und Schlamm aus dem wasserführenden Niveau mitgerissen und zur Oberfläche gebracht wurde. Dadurch verloren die oberen Schichten ihren Halt, und es wurde eine so starke Senkung des Bodens herbeigeführt, daß zahlreiche Häuser Risse bekamen und selbst einstürzten.



Schematische Darstellung eines artesischen Brunnens. a) Undurchlässige Unterlage, b) Wasserschicht, c) undurchlässige Deckschicht. Vgl. Text, S. 422.

Selbstverständlich sind nicht überall die Verhältnisse so geartet, daß die Anlage artesischer Brunnen möglich wäre; oft findet man in der Tiefe keine unter Druck stehende Wasserschicht. Wo die Möglichkeit gegeben und Aussicht auf Erfolg vorhanden ist, muß der Geolog entscheiden; oft aber sind die Bedingungen und die Lagerung so verwickelter Natur, daß ein sicheres Urteil nicht möglich ist und eine Bohrung einigermaßen auf gut Glück unternommen werden muß, um für ein größeres Gebiet die Beschaffenheit der tiefen Wasserhorizonte festzustellen. Große Strecken bieten in dieser Hinsicht günstige Bedingungen, keine Gegend der Welt aber scheint mehr bevorzugt als ein großer Teil der riesigen Wüstengebiete Nordafrikas. Vielfach findet sich in der Sahara in ziemlich geringer Tiefe unter dem brennenden, trockenen Boden eine überaus reiche Wasserschicht, die quellende Brunnen liefert, wenn man ein Bohrloch niedersenkt (s. Abbildung, S. 424). Schon die alten Ägypter holten in den Oasen der Libyschen Wüste das kostbare Naß, die Bedingung alles Lebens, aus diesem Grundwasserniveau, und neuerdings haben sich namentlich die Franzosen in Algerien große Verdienste erworben, indem sie mit dem artesischen Bohrer große Strecken Kulturlandes der Wüste abgewannen.

Die Herkunft dieses Wassers ist schon vielfach besprochen worden; man glaubte, daß es von seitlicher Infiltration aus dem Nil herrühre, doch ist stellenweise das Wasserniveau in der Wüste höher als der Spiegel des Nils in der Gegend, wo die Infiltration stattfinden müßte, und überdies ist eine leichte Neigung der Schichten von der Libyschen Wüste gegen den Nil vorhanden. Nur für die Quellen der Natronseen in Unterägypten dürfte diese Voraussetzung zutreffen, denn diese Quellen liegen sämtlich unter dem Niveau des Nilspiegels und kommen auf der dem Nil zugekehrten Ostseite des Wadi Natrun zu Tage. Aller Wahrscheinlichkeit nach ist das Wasser in verschiedenen Teilen der Sahara verschiedener Herkunft. So darf wohl als sicher angenommen werden, daß manche Oasen, wie Borku, Egei, Bodele, das Leben spendende Naß durch Grundwasserströmungen aus dem Tsadsee beziehen, und selbst die ferne Oase Kufra im nördlichen Teil der zentralen Sahara dürfte den regenreichen Gebieten des Sudan südlich von der Sahara

ihren Waſſerreichtum verdanken. Andere Oaſen, wie Tuat, Tafilelt und Draa, werden von den Waſſern geſpeiſt, die namentlich nach den Winterregen und nach der Schneeſchmelze in mächtigen Strömen vom Atlasgebirge herabbrauſen und dann im heißen Wüſtenſand verſinken. Aber auch von den höheren Berggruppen im Inneren der Sahara ſcheinen Grundwaſſerſtrömungen zu kommen. So werden die Quellen des Feſſan im ſüdlichen Tripolis auf die Niederſchläge in den umgebenden Hogarbergen und am Dſchebel Soda zurückgeführt, und auch die mächtige unterirdiſche Waſſerſtrömung im Trockenthal des Irharhar dürfte den Niederſchlägen des Ahagar-Gebirges in der Mitte der Sahara zuzuſchreiben ſein. Dieſe Strömung erſtreckt ſich in nordſüd-

Arteſiſcher Brunnen zu Sidi Amran in Algerien. (Nach O. Büchner.) Vgl. Text, S. 428.

licher Richtung bis in das Gebiet der algeriſchen Schotts, wo ſie den vom Atlas herabkommenden Gewäſſern begegnet. Um einen Begriff von dem unterirdiſchen Waſſerreichtum des Irharhar zu geben, erwähnen wir, daß Ued Rir und die Oaſen von Tugurt im Jahre 1885 bereits 114 fließende, von den Franzoſen angelegte, und 492 von den Eingebornen gegrabene arteſiſche Brunnen beſaßen. Dieſe liefern, wenn man einige natürliche Quellen hinzunimmt, zuſammengenommen 255,698 Liter in der Minute oder 130 Millionen cbm jährlich. Das Waſſer kommt aus 70—75 m Tiefe und hat eine Temperatur von durchſchnittlich 25° C. Bei gewiſſen Oaſen iſt man jedoch über die Herkunft des Waſſers noch gänzlich im unklaren. Dies gilt beſonders von Chargeh und Dakhel in der Libyſchen Wüſte, die thermales, kobalt- und manganhaltiges Waſſer wahrſcheinlich aus großer Tiefe empfangen. Während man in anderen Gegenden gewöhnlich bemerkt, daß bei Anlage einer größeren Zahl arteſiſcher Bohrungen die Ergiebigkeit der einzelnen unter ihnen erheblich leidet, hat man in der Sahara noch nichts derart beobachtet. Es iſt daher alle Ausſicht vorhanden, auf dieſe Weiſe noch weitere anſehnliche Strecken der Wüſte der Kultur zu erſchließen und zurückzugewinnen; weiß man ja doch, daß zur Zeit der hohen Blüte des alten Ägypten in jetzt ganz ſterilen Gegenden eine Reihe bedeutender Anſiedelungen vorhanden waren, deren Exiſtenz nur durch ſeitdem verſchüttete arteſiſche Brunnen ermöglicht war.

Über die Oase Dakhel schreibt Zittel: „In der Umgebung von Kasr Dakhel sprudeln allein 30—40 mächtige Thermen hervor, und ihre Zahl kann fast beliebig vermehrt werden. Die älteren Quellen kommen entweder freiwillig aus Spalten eines dichten Kreidemergels hervor, oder sie wurden schon in einer Zeit gegraben, welche der Tradition der Oasenbewohner entrückt ist; die neueren Brunnen werden in der Weise hergestellt, daß mit unsäglicher Mühe lediglich durch Handarbeit ein Schacht abgeteuft wird. Hat derselbe die Kreidemergel durchsenkt, so werden aus Akazienholz gezimmerte Kasten von etwa 2 Fuß im Geviert aufeinander gesetzt, durch Zapfen vernietet, und dann wird die letzte weiße Sandsteinbank durchgestoßen. Diese Operation ist nicht ohne Gefahr, denn das Wasser strömt mit solcher Gewalt hervor, daß die Arbeiter Mühe haben, zu entrinnen; es füllt den Brunnen rasch bis zum Rande, fließt von da in zahlreiche Gräben und verwandelt wie durch Zauber die öde Wüste in frische, grünende Gärten. Man sollte denken, daß jeder neue Brunnen die zunächst gelegenen in ihrem Wasserreichtum beeinträchtigen müßte, allein bis jetzt hat sich eine derartige Erscheinung noch nirgends gezeigt. Der unterirdische Behälter scheint geradezu unerschöpflich zu sein. Wir hatten Gelegenheit, die segensreiche Wirkung eines vor sechs Monaten angelegten Brunnens zu beobachten. Man führte uns durch eine öde, mit handhohem Flugsand bedeckte Ebene nach einem niedrigen Hügel, wo das Wasser aus der Quelle in ein vielfach verzweigtes System von Gräben und Kanälchen über ein sanft geneigtes Terrain abfloß. Bis zu der Stelle, wo die äußersten dünnen Wasserfädchen des Kanalnetzes im Sande verrieselten, war die Wüste in ein prachtvolles, grünendes Weizenfeld umgewandelt; dazwischen keimten bereits Datteln- und Akazienschößlinge, so daß in wenigen Jahren ein stattlicher Palmenhain den der Kultur gewonnenen Boden beschatten wird.

„Fast mit Sicherheit läßt sich den Oasen eine bessere Zukunft voraussagen, wenn erst die Erkenntnis festen Fuß gefaßt haben wird, daß die Zahl der Quellen beinahe unbeschränkt vermehrt werden kann; wenn zweckmäßigere und weniger zeitraubende Methoden zur Bohrung artesischer Brunnen in Anwendung gebracht sein werden, dann kann der kultivierbare Boden der Oase Dakhel, die jetzt von etwa 17,000 Menschen bewohnt wird, leicht die zehnfache Anzahl besser und reichlicher ernähren als jetzt. Der Beweis hierfür braucht nicht erst geliefert zu werden; die zahlreichen Ruinen altägyptischer Dörfer in den Oasen Chargeh und Dakhel, die stattlichen, aus mächtigen Sandsteinquadern erbauten Tempel mit schön erhaltenen Hieroglyphen inmitten öder Wüstenstriche, die verschütteten Brunnen, deren Lage vielleicht noch hier und dort durch eine verkümmerte Baumgruppe bezeichnet ist, die zahllosen vermoderten Baumstümpfe zwischen versandeten Feldern, deren Einteilung sich noch erkennen läßt, sprechen deutlicher als alle schriftlichen Urkunden für die einstige Blüte der Oasen unter den altägyptischen Königen, die nicht durch Veränderungen der physikalischen Verhältnisse, sondern durch die Verwüstungen der Menschen zu Grunde ging."

Die Temperatur der Quellen wird wesentlich durch die Tiefenstufe bedingt, aus der sie kommen. Diejenigen unter ihnen, die ganz oberflächlich, unmittelbar unter der Humusdecke verlaufen, die sogenannten Rasenquellen, machen die täglichen Schwankungen der Lufttemperatur mit, sie gefrieren im Winter, versiegen im Sommer; auch die aus etwas größerer Tiefe stammenden „Bodenquellen", die ihr Wasser dem obersten Grundwasserniveau entnehmen, machen wenigstens die Schwankungen der Jahreszeiten mit, und erst die aus noch größerer Tiefe kommenden „Gesteinsquellen" bewahren eine gleichbleibende und von dem Wechsel der Lufttemperatur nicht oder nur unmerklich beeinflußte Wärme.

Die Wasseradern jedoch, die aus größerer Tiefe aufsteigen oder künstlich erbohrt werden, liefern warme Quellen oder Thermen. Als solche bezeichnet man die Quellen, deren Temperatur das Jahresmittel für den betreffenden Ort auch nur um einen Grad übersteigt. Man

darf ſich alſo durchaus nicht vorſtellen, daß eine Therme heißes Waſſer haben müſſe; im Gegenteil muß als ſolche in einer polaren Gegend, deren Klima im Durchſchnitt unter dem Gefrierpunkt liegt, ſchon eine eiſigkalte Quelle bezeichnet werden, die nur einen Grad über Null hat. Solche Vorkommniſſe ſind in der Natur ſehr häufig; weit ſeltener ſind die, bei denen die Temperatur erheblich höher ſteigt und das Waſſer dem Gefühl als entſchieden warm oder wirklich heiß erſcheint. Gerade dieſe ſind jedoch für den Geologen wegen der beſonderen Umſtände, unter denen ſie auftreten, von allergrößtem Intereſſe.

Quellen, die aus ſolcher Tiefe aufſteigen, daß ſie eine ſehr hohe Temperatur mitbringen, deren Herd alſo bei aller Unſicherheit der Anhaltspunkte einige Tauſend Fuß unter Tage liegt, treten in der großen Mehrzahl der Fälle in Spalten auf; ſie halten ſich an Gebiete tektoniſcher Störungen und ſpielen daher ſehr häufig eine ähnliche Rolle als Zeugen noch fortdauernder Bewegungen im Inneren wie die Erdbeben und Vulkane. Wir haben geſehen, daß die Verwerfung, die den Wiener Keſſelbruch gegen Weſten begrenzt, von einer ganzen Reihe von warmen Quellen bei Baden, Vöslau und anderen Orten begleitet iſt: es iſt die „Wiener Thermenlinie“. In ähnlicher Weiſe ſtehen die berühmten heißen Quellen im nördlichen Böhmen mit dem ſüdlichen Abbruch des Erzgebirges in Verbindung, und ähnlicher Beiſpiele kann eine ganze Reihe angeführt werden. Namentlich ſind Vulkangebiete, thätige wie erloſchene, ſo reich an heißen Quellen, daß es gar nicht möglich iſt, alle einzelnen Fälle anzuführen. Die allbekannten und in ſtaunenswerter Großartigkeit entwickelten Vorkommniſſe auf Island, im Yellowſtone-Park in Nordamerika und auf Neuſeeland ſind beſonders auffallende Beiſpiele, zu denen ſich noch Hunderte von anderen geſellen ließen. Es iſt überhaupt nicht möglich, zwiſchen dem Ausbruch eines Vulkans und den Erſcheinungen einer heißen Quelle eine Grenze zu ziehen. Der Waſſerdampf iſt ein Hauptagens bei den Paroxysmen eines Feuerberges, ſeine Exploſionen bewirken hier gerade die augenfälligſten Erſcheinungen; Ausſtrömungen von Waſſerdampf und heißem Waſſer begleiten die Ausbrüche, und wenn der Vulkan in Ruhe zurückſinkt, treten dieſe beiden nur noch allein auf, ohne feſte Produkte. Lange Zeit noch, wohl Hunderttauſende von Jahren hindurch, bleiben die beiden als Reſte der eruptiven Thätigkeit zurück. So wie die Vulkane nicht immer an die Hauptbruchlinien, ſondern ebenſo oft an kleine Querſpalten gebunden ſind, ſo können auch heiße Quellen an Querlinien auftreten, wie dies z. B. bei den ſchon genannten böhmiſchen Thermen der Fall iſt.

Außer dem warmen Waſſer finden ſich auch ſehr häufig Gasausſtrömungen, namentlich von Kohlenſäure, als Überreſte der vulkaniſchen Erſcheinungen vor.[1] Oft benutzen ſie dieſelben Spalten wie das heiße Waſſer, um an die Oberfläche zu gelangen, dann miſchen ſich beide und treten als heiße Kohlenſäuerlinge zu Tage; nicht ſelten aber ſchlägt das Gas einen ſelbſtändigen Weg nach oben ein, trifft jedoch auf dieſem in höheren Regionen auf eine kalte Quelle und ſtrömt mit dieſer zuſammen aus. Dieſe Thatſache erklärt uns auch, wie es kommt, daß in einer und derſelben Region nebeneinander beide Arten von Säuerlingen, heiße und kalte, vorkommen; ein ſolcher Fall liegt z. B. in den böhmiſchen Bädern vor, wo Teplitz, Karlsbad und Franzensbad den erſten, Marienbad und eine Menge anderer den zweiten Typus darſtellen.

Nachſtehend ſeien die Analyſen einiger wichtiger Quellen angeführt: 1) Karlsbader Sprudel; 2) Therme von Gaſtein; 3) Quelle von Pfäfers; 4) Wiesbaden, Kochbrunnen; 5) Ems, Keſſelbrunnen; 6) Pyrmont, Brodelbrunnen. Von dieſen gehören Karlsbad und Ems in die Gruppe der alkaliſchen Quellen, die durch einen hohen Gehalt von kohlenſaurem Kalk und Natron ausgezeichnet ſind, Wiesbaden vertritt die an Kochſalz reichen Salzquellen, und Pyrmont bildet den Typus der Eiſen- oder Stahlquellen.

[1] Hieraus darf aber nicht gefolgert werden, daß alle Kohlenſäureausſtrömungen vulkaniſcher Natur ſeien.

Enthält in 1000 Teilen:	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Kohlensaures Natron	1,3619	0,0052	0,0061	—	1,4063	—
Kohlensauren Kalk	0,2978	0,0474	0,1306	0,4180	0,1525	0,8660
Kohlensaure Magnesia	0,1240	0,0036	0,0531	0,0104	0,1197	0,0083
Kohlensaures Eisenoxydul	0,0028	0,0068	0,0017	0,0056	0,0024	0,0539
Kohlensaures Manganoxydul	0,0006	0,0026	—	0,0006	0,0002	0,0054
Kohlensauren Baryt	—	—	0,0006	Spur	0,0010	—
Kohlensauren Strontian	0,0008	—	0,0015	Spur	0,0014	—
Schwefelsaures Kali	0,1636	0,0014	0,0075	—	0,0437	0,0160
Schwefelsaures Natron	2,3721	0,1975	0,0329	—	0,0156	0,0436
Schwefelsauren Kalk	—	—	—	0,0902	—	0,8668
Schwefelsaure Magnesia	—	—	—	—	—	0,6041
Schwefelsauren Baryt	—	—	—	—	—	0,0003
Schwefelsauren Strontian	—	—	—	—	—	0,0080
Chlornatrium	1,0306	0,0476	0,0493	6,8356	1,0313	0,1810
Chlorkalium	—	—	—	0,1458	—	—
Chlorcalcium	—	—	—	0,4710	—	—
Chlormagnesium	—	—	—	0,2039	—	—
Phosphorsauren Kalk	0,0002	—	—	0,0004	—	0,0004
Phosphorsaure Thonerde	0,0004	0,0054	0,0009	—	0,0002	0,0003
Kieselsäure	0,0728	0,0315	0,0141	0,0599	0,0485	0,0358
Sonstiges	0,0036	—	0,0006	0,0211	0,0095	0,0037
Summa der festen Bestandteile	5,4312	0,3490	0,2989	8,2625	2,8323	2,6936
Kohlensäure	0,7604	0,0067	0,0971	0,5082	1,6493	2,8930

In dem Gehalt an Kohlensäure und der wenigstens bei vielen vorhandenen hohen Temperatur liegt auch der Grund, warum die meisten dieser Quellen „Mineralquellen" sind, d. h. warum sie eine größere Menge von Mineralbestandteilen gelöst enthalten als andere Quellen, in einem Maße, daß sich diese Beimischung dem Geschmackssinn in der Regel sehr deutlich zu erkennen gibt. Während reines Wasser von niederer Temperatur die meisten Gesteine nur wenig angreift, ist das in höherem Grade der Fall, wenn das Wasser warm ist oder Kohlensäure führt oder beide Eigenschaften vereinigt. Infolgedessen lösen diese Säuerlinge je nach der Natur des Gesteines, durch das sie laufen, größere oder geringere Mengen von Mineralteilen auf und bringen sie mit an die Oberfläche. Sehr widerstandskräftigen Gesteinen allerdings können auch sie nicht viele Bestandteile entziehen, wie das z. B. bei den heißen, kohlensäurereichen Quellen von Teplitz der Fall ist; sie entströmen einem Quellspalt in sehr wenig zersetzbarem Quarzporphyr und enthalten infolgedessen nur sehr wenig feste Bestandteile, sie bilden eine sogenannte „indifferente Quelle". Ähnlich verhalten sich die Quellen von Gastein, Pfäfers ꝛc. (s. die obenstehende Tabelle).

Geiser und Schlammvulkane.

Eine sehr merkwürdige und eigentümliche Gattung heißer Quellen stellen die sogenannten Geiser dar. Sie sind heiße Springquellen, die jedoch nicht unausgesetzt thätig sind, sondern in größeren oder kleineren Zwischenräumen mit gewaltiger Heftigkeit ausbrechen und ihre Wassermassen hoch in die Luft schleudern.

Am längsten bekannt sind solche Quellen aus Island, und dort befindet sich auch der Große Geiser, der der ganzen Kategorie den Namen gegeben hat. Das Geiserthal liegt am Rande der großen Gletscherwüste, die das Hochplateau der Insel bildet, in einer Höhe von etwa 110 m über

dem Meere. „In einer etwa 2 Meilen breiten Ebene, die sich vom Fuße des Blafell gegen das Ufer des Meeres erstreckt und sich hier mit dem flachen, moorigen Küstenland verbindet, liegt das Quellensystem des Großen Geisers am Fuße eines aus schieferigem Klingstein und grauem Trachyt zusammengesetzten Hügels. Das weite Thal ist mit einem dichten grünen Teppich üppiger Wiesengründe bedeckt, mehrere größere und kleinere Flüsse winden sich wie silberne Bänder durch die grasreiche Ebene.... Schon aus der Ferne bemerkt der Reisende an verschiedenen Stellen weiße, leichte Dämpfe, die über dem Boden hinziehen, oder kräftigere Rauchsäulen wolkenförmig emporwirbeln; bald aber wird er in ein kompliziertes System größerer und kleinerer warmer Quellen und Kochbrunnen eingeführt, die hier aus einer gemeinsamen Spalte in nordnordöstlicher Richtung hervorbrechen.

„Der Geiser entsteigt einem Untergrund von sehr jungen Anschwemmungen und ist durch eine dicke Schicht von Kieselsinter, dem Absatz der Quellen, allmählich umlagert worden. Von horizontalen Schichten dieses Quellenabsatzes hat sich rings um den Geiser in größeren Verhältnissen, in kleineren um die anderen Sprudel, ein flacher Eruptionskegel gebildet, in dessen Mitte eine senkrechte cylindrische Röhre von weiterem oder engerem Durchmesser von der Art eines Brunnens in die Tiefe führt. Der Große Geiser besitzt einen abgestumpften Eruptionskegel von aschgrauer Farbe, er ist gegen Osten unter einem Winkel von 8—10° geböscht, gegen Westen beträgt seine Neigung nur etwa 7°; in diesen Kegel versenkt sich ein flaches Becken von etwa 17 m Durchmesser, in dessen Mitte das Rohr des Kochbrunnens, mit einem dreimal kleineren Durchmesser von senkrechten Wänden umrahmt, sich 23,5 m in die Tiefe senkt. Daß sich von hier ab verborgene Kanäle weiter verzweigen mögen, ist im höchsten Grade wahrscheinlich. Unter den gewöhnlichen Verhältnissen ist das Becken mit kristallklarem, seegrünem Wasser, welches (an der Oberfläche) eine Temperatur von 82° C. besitzt, erfüllt und läuft in drei kleinen Abflußrinnen über die nach Osten gewendete Böschung des Kegels. Nach einiger Zeit vernimmt man unterirdisches Donnern, das, wenn auch viel weniger laut, demjenigen durchaus ähnlich ist, welches die Vulkane während ihrer Ausbrüche von sich geben. Während diese Erscheinung einige Sekunden fortdauert, dann bisweilen nachläßt, um desto stärker wieder zu beginnen, schwillt das Wasser im Becken, es wird nach oben konvex gewölbt, und zugleich steigen große Dampfblasen hervor, welche an der Oberfläche zerplatzen und das Wasser einige Meter hoch emporschleudern. Darauf wird es still, dichter weißer Dampf umhüllt für kurze Zeit das Bassin. In sehr regelmäßigen Zwischenräumen von einer Stunde und 20—30 Minuten wiederholt sich dieselbe Erscheinung einen Tag und auch wohl länger ohne Unterbrechung, bis sie plötzlich einen etwas anderen Charakter annimmt. Dann wird stärkeres Donnern aus der Tiefe vernommen, das Wasser schwillt im Bassin, schlägt hohe Wellen und wirbelt umher, in der Mitte erheben sich gewaltige Dampfblasen, und nach wenigen Augenblicken schießt ein Wasserstrahl, in feinen, blendend weißen Staub gelöst, in die Luft; er hat kaum eine Höhe von 80—100 Fuß erreicht, und seine einzelnen Perlen sind noch nicht im Zurückfallen begriffen, so folgt ein zweiter und dritter höher emporsteigender dem ersten nach. Größere und kleinere Strahlen verbreiten sich nun in allen Richtungen, einige sprühen seitwärts, kürzeren Bogen folgend, andere schießen aber senkrecht empor mit sausendem Zischen, wie die Raketen eines Feuerwerkes, ungeheure Dampfwolken wälzen sich übereinander und verhüllen zum Teil die Wassergarbe; nun noch ein Stoß, ein dumpfer Schlag in der Tiefe, dem ein spitziger, alle anderen an Höhe übertreffender Strahl, auch wohl von Steinen begleitet, nachfolgt, und die ganze Erscheinung stürzt, nachdem sie nur wenige Minuten gedauert, in sich zusammen wie eine phantastische Traumgestalt beim Einbruch des Morgens. Ehe sich noch der dichte Dampf im Winde verzogen hat und das siedende Wasser an den Seiten des Kegels abgelaufen ist, liegt das vorhin ganz mit Wasser erfüllte Bassin trocken, mit aschgrauen Sinter-

perlen überdeckt, vor dem Auge des herannahenden Beobachters, der im tiefer führenden Rohre fast 2 m unter dem Rande das Wasser ruhig und still wie in jedem anderen Brunnen erblickt. Sehen muß man dieses Schauspiel, beschreiben läßt es sich nur ungenügend; sein Anblick allein ist hinreichend, um den Naturforscher reichlich zu entschädigen für die Anstrengungen, Entbehrungen und selbst Gefahren seiner so mühsamen und eintönigen Reise." (Nach Sartorius von Waltershausen.)

Außer dem Großen Geiser liegen hier auf kleinem Raume noch 40—50 Kochquellen und Sprudel beisammen, unter welchen der Strokkur (das Butterfaß) weitaus am größten ist. Über diesen berichten Preyer und Zirkel folgendermaßen: „Der Strokkur liegt nur etwa 100 Schritt vom Großen Geiser entfernt, sein äußeres Ansehen ist aber von diesem sehr verschieden; er hat sich an seiner Mündung keinen hohen Eruptionskegel von Kieseltuff aufgebaut, sondern seine Öffnung ist nur von einem wulstförmigen, kaum 4 Zoll hohen Rande umsäumt, welcher aus einem braunen, festen Sinter besteht. Unmittelbar von der Oberfläche senkt sich die Röhre hinab; an der Mündung hat dieser Kanal einen Durchmesser von $7^1/_3$ Fuß, in einer Tiefe von 26 Fuß aber verengert er sich so sehr, daß er nur noch eine Breite von 1 Fuß besitzt. Das Wasser steht gewöhnlich 10—13 Fuß unter der Oberfläche und ist fortwährend in starkem Wallen und Aufkochen begriffen, ohne dabei höher anzusteigen oder tiefer hinabzusinken.

„Nachdem wir eine flüchtige Rundschau unter allen den verschiedenen Kochbrunnen gehalten, beschlossen wir, uns davon zu überzeugen, ob man wirklich, was frühere Reisende teils versichern, teils verneinen, im stande ist, den Strokkur durch Hineinwerfen von Erde und Steinen in dem unteren Teile seiner Trichterröhre zu verstopfen und zu einer Eruption zu zwingen. Rasch waren wir alle sieben damit beschäftigt, breite Platten und größere Blöcke von Kieseltuff herbeizuschleppen, größere Rasenschollen auszustechen, Erde herbeizutragen und in den Strokkurschlund hinabzustürzen; allein nach halbstündiger anstrengender Arbeit war noch keine Veränderung in der Höhe und dem Gebaren der Wassersäule eingetreten, wiewohl wir dem Ungeheuer beträchtliche Ladungen in den gähnenden Rachen geworfen. Wir verzichteten nun darauf, jenes Schauspiel zu genießen, und zogen uns nach dem etwa 4 Minuten entfernten Gehöft Laugar zurück, um uns etwas von der Anstrengung zu erholen. . . .

„Während wir zu den Geisern zurückschlenderten, schlug plötzlich ein dumpfer Laut an unser Ohr, und siehe da, in der Gegend, wo der Strokkur lag, stieg mit unbeschreiblicher Gewalt eine mächtige Dampfsäule zu den Wolken empor; ihr folgte, eingehüllt in dichte Massen von Dampf, eine kolossale Wassersäule, welche unter furchtbarem, brüllendem Geräusch aus dem Schlunde emporgeschleudert wurde und sich in die Luft zu außerordentlicher Höhe erhob. Kaum hatte diese Wassermasse begonnen wieder zurückzusinken, als neue, mit verdoppelter Kraft und noch betäubenderem Tosen hervorbrechende Garben das Spiel weiter fortsetzten. Bisweilen trat für einige Augenblicke eine Pause ein, und dann spritzten nach allen Richtungen mit zischendem Geräusch kleinere Strahlen siedenden Wassers aus der Mündung hervor, den Dampf durchbrechend, der diese einhüllte. Die Höhe, bis zu welcher diese Säulen emporstiegen, war unregelmäßig, bald größer, bald kleiner, manche erreichten wenigstens 80—100 Fuß. Das Wasser war durch die zerkochten Erdschollen und Rasenstücke schokoladefarbig und braungelb gefärbt. Steine, mit denen wir die Röhre verstopft hatten, wurden zu Höhen emporgeschleudert, daß sie fast unseren Blicken entschwanden; manche von ihnen stiegen in so genau senkrechter Richtung auf, daß sie wieder in die Röhre zurückfielen und als riesige Bälle dem mächtigen Springbrunnen zum Spielzeug dienten; zuletzt nahm die Höhe der Wassergüsse immer mehr ab, unvermutet schossen wie Blitze noch einmal ein paar nacheinander hoch hinauf in die Lüfte, aber dann war die ganze Erscheinung nach 6 Minuten verschwunden. Als keine Gefahr mehr vorhanden war, unversehens verbrüht

zu werden, näherten wir uns dem Brunnenrohr, in deſſen Mündung der Boden noch ganz mit heißem, ſchmutzigem Waſſer überſchwemmt war, und ſchauten neugierig in den Trichter hinab. Wer an Schwindel leidet, darf dem Rande nicht zu nahe treten. Der Bauer in Laugar erzählte mir, daß mitunter Kühe, Pferde und Schafe in die Tiefe hineinfallen und in einem gänzlich zerkochten Zuſtande wieder ausgeworfen werden.

„Die Waſſerſäule im Inneren hatte ein tieferes Niveau als vor der Eruption und wallte in heftigem Kochen auf; bisweilen ſchwoll ihre Oberfläche noch einmal halbkugelartig an und ſchien ſich heben zu wollen, aber es platzten nur die Beulen und Blaſen auf der Brandung. Etwa 150 Schritt von dem Großen Geiſer liegen mehrere ausgedehnte Teiche, deren Schönheiten kaum zu beſchreiben ſind. Die Umriſſe ſind unregelmäßig, jeder etwa 15—20 Fuß breit und 30 Fuß tief, angefüllt bis an den Rand mit ganz ruhigem, faſt kochendem Waſſer, ſo klar wie Kriſtall und ſo durchſichtig, daß man bis auf den Grund ſehen konnte. Die einzelnen Baſſins ſind durch ſchmale Scheidewände voneinander getrennt, welche ebenſo wie die anderen Seiten aus Kieſelſinter beſtehen; die weißen Zacken und Spitzen, welche in den phantaſtiſchſten Formen die Wände dieſer Grotten oft mit farnkrautartiger Feinheit bekleiden, ſcheinen durch das bald ſeladongrüne, bald amethyſtblaue Waſſer in wunderbarer Pracht. In der Nähe dieſer Grotten befindet ſich der Kleine Strokkur, welcher jede halbe Stunde große Dampfmaſſen entwickelt und dann ſein Waſſer 6—10 Fuß hoch emporſchleudert; die Dauer eines ſolchen Ausbruches beträgt nur 30 Sekunden.

„Das Waſſer ſämtlicher Kochbrunnen ſetzt die Kieſelerde, die es in anſehnlicher Menge unter ſtarkem Drucke und hoher Temperatur aus den Geſteinsmaſſen aufgelöſt hat, in Form von Tuffen und Sinter ab.[1] Auf weite Erſtreckung beſteht die Oberfläche in der Umgebung dieſer Sprudel aus einer ſtarken Kruſte ſolcher Abſätze, aus welchen auch die Becken und Röhren der Quellen aufgebaut ſind. Die rieſelnden Bäche, welche dem Becken entfließen, ſetzen in ihrem Bette und beſonders ſtark an ihren Ufern Rinden von Kieſelſinter ab, welche meiſt aus feinen, papierdünnen, wellenförmig übereinander liegenden Schichten beſtehen. Auch alle Körper, welche vom Waſſer dieſer Quellen benetzt werden, überziehen ſich in kurzer Zeit mit einer dickeren oder dünneren Kruſte. So kommen in der Nähe der Geiſer verkieſelte Pflanzenreſte in beſonders großer Menge vor. Die zarteſten Nerven von Birken- und Weidenblättern, die feinſten geſägten Rippen an der Oberfläche von Schachtelhalmen ſind höchſt getreu abgedrückt; unzählige Abdrücke von Gräſern und Zweigen von kleinen kriechenden Geſträuchen, ja von Blumen finden ſich in ſeltener Schönheit in den Tuffen eingeſchloſſen. Während wir beſchäftigt waren, von dieſen zarten Gebilden zu ſammeln, wurden wir durch einen Anblick überraſcht und entzückt, der wenigen der früheren Reiſenden zu teil geworden iſt, durch eine rieſenhafte freiwillige Eruption des Strokkur. Hinter unſerem Rücken ertönte plötzlich unterirdiſches Donnern, um den Strokkur ſchoß eine Säule dichten weißen Dampfes mit Pfeilgeſchwindigkeit in die Lüfte; in der Mitte umhüllte dieſelbe einen cylindriſchen Waſſerſtrahl von mindeſtens 10 Fuß Durchmeſſer, welcher ſich nach oben zu wie eine koloſſale Pinie in verſchiedene Arme zerteilte, deren Spitzen, in blendend weißen Staub

[1] Nach einer Analyſe von Fr. Sandberger iſt das Waſſer des Großen Geiſers aus folgenden Beſtandteilen zuſammengeſetzt:

Kieſelſäure	0,5097 Prozent	Schwefelſaure Magneſia .	0,0042 Prozent
Kohlenſaures Natron . .	0,1939 "	Chlornatrium	0,2521 "
Kohlenſaures Ammoniak .	0,0083 "	Schwefelnatrium	0,0088 "
Schwefelſaures Natron . .	0,1070 "	Kohlenſäure	0,0557 "
Schwefelſaures Kali . . .	0,0475 "	Waſſer	98,8128 "
			100,0000 Prozent.

gelöst, nach allen Richtungen hin zerstoben; kaum war die Säule ebenso rasch, wie sie in die Höhe emporstieg, auch wieder bis zur Hälfte zurückgesunken, als sie sich mit erstaunlicher Schnelligkeit und betäubendem Gebrüll zu noch größerer Höhe erhob, so daß man sie kaum mit den Augen verfolgen konnte. Aus der Dampfhülle fuhren wie Raketen mit sausendem Zischen unzählige andere Strahlen in geneigten Bogen hervor, welche sich ebenfalls in feinen Staubregen auflösten, dessen Perlen langsam zur Erde fallen; unermeßliche Dampfwolken umlagern die ganze Erscheinung. Bald scheint es, als ob die riesigen Kräfte erschöpft seien und die ermattete Säule zusammenbrechen wollte, aber nur, um mit noch größerer Geschwindigkeit unter noch lauterem Donner in noch nicht erreichte Höhen emporzusteigen. So groß war die Gewalt des Dampfes, daß, obschon der Wind ziemlich stark ging, die Säule um nichts von ihrer senkrechten Richtung abgelenkt wurde. Dies wunderbare Schauspiel dauerte 15 Minuten, bis endlich die Gewalt ausgetobt hatte und die Wassersäule zusammenstürzte, um sich nicht wieder zu erheben; die höchste Höhe, welche sie erreichte, betrug 140 Fuß."

Zur Erklärung dieser Erscheinungen sind mehrfache Theorien ersonnen worden; Mackenzie nahm die Existenz unterirdischer Hohlräume an, die wie Dampfkessel fungierten und abwechselnd mit Dampf und mit heißem Wasser gefüllt seien; von diesen aus soll dann der Ausbruch durch verbindende Kanäle in das Geiserrohr verpflanzt werden. Diese Ansicht, die durch Krug von Nidda und G. Bischoff erheblich vervollkommt wurde, kann aber nicht auf alle Fälle angewendet werden; so stimmt sie namentlich nicht mit den Thatsachen überein, die besonders am Großen Geiser genau untersucht worden sind. Auf Grund dieser hat Bunsen eine sehr schöne Geysertheorie aufgestellt, deren Prinzip allgemein als richtig erkannt und auch durch Laboratoriumsversuche bestätigt worden ist.

Entscheidend für die Auffassung Bunsens waren die in Gemeinschaft mit Des Cloizeaux vorgenommenen Messungen der Temperaturveränderungen, die die Wassersäule des Großen Geisers in ihren verschiedenen Schichten in der Zeit zwischen zwei Ausbrüchen erleidet. Das nachstehende Schema enthält die Ergebnisse dieser Messungen:

6. Juli 8 Uhr 20 Min. nachmittags		7. Juli 2 Uhr 55 Min. nachmittags		7. Juli 7 Uhr 58 Min. nachmittags	
Höhe über dem Boden	Temperatur	Höhe über dem Boden	Temperatur	Höhe über dem Boden	Temperatur
0 m	123,6° C.	0 m	127,5° C.	0 m	126,5° C.
4,8 "	122,7° "	5 "	123,0° "	— "	— "
9,6 "	113,0° "	9 "	120,4° "	9,85 "	121,8° "
14,4 "	85,8° "	14,75 "	106,4° "	14,75 "	110,0° "
19,2 "	82,6° "	19,55 "	85,2° "	19,55 "	84,7° "

Dadurch ist erwiesen: 1) daß die Temperatur der Geiserkolonne von unten nach oben abnimmt; 2) daß die Temperatur, kleine Störungen abgerechnet, an allen Punkten der Säule desto höher steigt, je mehr Zeit seit der letzten Eruption verflossen ist; 3) daß sie selbst bis einige Minuten vor dem großen Ausbruch an keinem Punkte der ruhenden Wassersäule den Kochpunkt erreicht, der dem Atmosphären- und Wasserdruck am Orte der Beobachtung[1] entspricht. An der Stelle, wo von unten oder von den Seiten her die stärkste Wärmezufuhr stattfindet, beim Großen Geiser ungefähr im unteren Drittel des Rohres, wird der Druck der Wassersäule zuerst überwunden und etwas Wasser in Dampf verwandelt. Es entwickeln sich Dampfblasen, die beim Aufsteigen das Getöse und das Aufwallen der Wasseroberfläche verursachen. Durch jede solche Dampfbildung wird aber Wärme verbraucht und infolgedessen die Temperatur der betreffenden Wasserschicht

[1] Es ist bekannt, daß das Wasser unter größerem Drucke erst bei höherer Temperatur siedet.

erniedrigt, ſo daß nach jeder kleinen Eruption eine gewiſſe Zeit vergehen muß, bis die Wärme durch neue Zufuhr wieder genügend geſteigert iſt und ſich von neuem Dampfblaſen bilden können. Gleichzeitig ſteigt die Temperatur in der ganzen Geiſerſäule, die Dampfbildung wird immer ſtürmiſcher, und endlich wird die Kraft des Dampfes hinreichend, den oberen Teil der Waſſerſäule zu heben und ſelbſt hinauszuſchleudern. Dies hat aber eine plötzliche Druckverminderung zur Folge, mit einem Schlage verwandelt ſich nun das überhitzte Waſſer in Dampf, und es erfolgt die große Eruption. Das hierbei in die Höhe geſchleuderte Waſſer kühlt ſich in der Luft natürlich ab, fällt zum Teil wieder in das Geiſerbecken zurück und verhindert ſchließlich durch ſeine niedere Temperatur ein weiteres Aufkochen. Das Geiſerbecken füllt ſich nun von neuem mit langſam aufſteigendem heißen Waſſer an, und der Prozeß wiederholt ſich in rhythmiſcher Weiſe. Da die Menge und Temperatur des zufließenden Waſſers und des Dampfes, die Länge

Heiße Quellen und Geiſer von Orakaikorako auf Neuſeeland. (Nach Hochſtetter.)

des Steigrohres und die Größe der abkühlenden Oberfläche des Beckens bei verſchiedenen Geiſern verſchieden iſt, ſo müſſen demgemäß auch die Stärke und die Dauer der Eruptionen und der Ruhepauſen ungleich ſein.

Dieſe ebenſo geiſtreiche wie einfache Hypotheſe erklärt die Erſcheinungen am Großen Geiſer ſehr gut; es fragt ſich nun, ob ſich auch die ähnlichen Erſcheinungen in Neuſeeland und im Yellowſtonepark ſo deuten laſſen.

Die Geiſererſcheinungen Neuſeelands ſind namentlich von F. von Hochſtetter näher unterſucht worden. Die überaus zahlreichen Springquellen, Kochbrunnen, Solfataren, Schlammausſtrömungen ꝛc. befinden ſich auf der Nordinſel längs einer Zone, die von dem im Zentrum gelegenen Taupoſee nach der Plentybai im Nordoſten verläuft. Zu den wunderbarſten Erſcheinungen dort gehören die Quellen des Waikato-Thales bei Orakaikorako (ſ. obenſtehende Abbildung), die Hochſtetter folgendermaßen ſchildert:

„Den 24. April 1859. Das Wetter hatte ſich in der Nacht ausgetobt, morgens lag dichter Nebel über dem Waikato, er hob ſich aber bald, die Sonne ſchien freundlich ins Thal, und nun — welches Schauſpiel! Reißenden Laufes, Stromſchnelle hinter Stromſchnelle bildend, ſtürzt der Waikato durch ein enges, tief zwiſchen ſteil anſteigenden Bergen eingeriſſenes Thal; ſeine Waſſer

wirbeln und schäumen um zwei kleine, mitten im Strombett liegende Felsinseln und schießen brausend durch die Thalenge. An den Ufern aber steigen weiße Dampfwolken auf von heißen Kaskaden, die in den Fluß fallen, und von Kesseln voll siedenden Wassers, die von weißer Steinmasse umschlossen sind. Dort steigt eine dampfende Fontäne in die Höhe und sinkt wieder nieder, jetzt erhebt sich an einer anderen Stelle eine zweite Fontäne, auch diese hört auf; da fangen aber zwei zu gleicher Zeit an zu springen, eine ganz unten am Flußufer, die andere gegenüber auf einer Terrasse, und es dauert das Spiel wechselnd fort, als ob mit einem kunstvoll und großartig angelegten Wasserwerk Versuche gemacht würden, ob die Springbrunnen auch alle gehen, die Wasserfälle auch genug Wasser haben. Ich fing an alle die einzelnen Stellen zu zählen, wo ein kochendes Wasserbecken sichtbar war, oder wo eine Dampfwolke ein solches andeutete. Ich zählte 76 Punkte, ohne jedoch das Gebiet ganz übersehen zu können, und darunter sind viele intermittierende, geiserähnliche Springquellen, welche periodische Wassereruptionen haben.

„Eine große, 120 Schritt lange und ebenso breite, aus weißlichem Kieselsinter bestehende Felsplatte, die sich als schiefe Fläche vom Fuße des Tutukanberges bis in den Waikato hineinzieht, eine wahre ‚Sprudelschale', umfaßt hier einige der merkwürdigsten und bedeutendsten Quellen des ganzen Gebietes, vor allen die Puia te mimi-a-Homaite Range. Die Art und Weise, wie wir über die intermittierenden Eigenschaften dieses Sprudels belehrt wurden, zeigt, wie sehr Vorsicht notwendig ist, wenn man zum erstenmal und ohne kundigen Führer sich solchen Quellen nähert. Zwei meiner Reisegefährten wollten sich am frühen Morgen den Genuß eines Bades im Waikato verschaffen und hatten eben ihre Kleider in der Nähe eines Bassins voll siedenden Wassers niedergelegt, als sie plötzlich neben sich heftige Detonationen vernahmen und sahen, wie das Wasser in dem Becken heftig aufwallte; erschreckt sprangen sie zurück und hatten eben noch Zeit, einem Gußbad siedend heißen Wassers zu entrinnen, denn jetzt wurde aus dem Bassin unter Zischen und Brausen eine dampfende Wassersäule in schiefer Richtung gegen 20 Fuß hoch emporgeworfen; noch in größter Aufregung erzählten mir meine Gefährten ihr Abenteuer mit dem heimtückischen Geiser; als ich zur Stelle kam, da war längst wieder alles ruhig, und in dem 4—5 Fuß weiten Becken sah ich kristallhelles Wasser nur leicht aufwallen. Die erste Wassereruption, die ich selbst beobachtete, erfolgte um 11 Uhr 20 Minuten vormittags; das Becken war kurz vor der Eruption bis zum Rande voll; unter deutlich vernehmbarem murmelnden Geräusch in der Tiefe des Beckens kam das Wasser in immer heftigeres Kochen und wurde dann plötzlich unter einem Winkel von 70° in südsüdöstlicher Richtung ausgeworfen, 20—30 Fuß hoch. Mit dem Wasser brachen unter zischendem Gebrause gewaltige Dampfmassen aus dem Kessel hervor, welche die Wassergarbe teilweise verhüllten. Diese dauerte $1^1/_2$ Minute, dann nahm die auswerfende Kraft ab, das Wasser sprang nur noch 1—2 Fuß hoch, und nach 2 Minuten hörte unter einem gurgelnden Geräusch das Wasserspiel ganz auf. Als ich jetzt an das Bassin herantrat, war es leer, und ich konnte 8 Fuß tief in ein trichterförmig sich verengendes Loch hinabsehen, aus dem unter Zischen Wasserdampf entwich. Allmählich aber stieg das Wasser wieder empor, nach 10 Minuten war das Becken von neuem voll, und um 1 Uhr 36 Minuten nachmittags fand die zweite Eruption statt, um 3 Uhr 10 Minuten die dritte, die ich zu beobachten Gelegenheit hatte. Die Eruptionen scheinen demnach alle zwei Stunden einzutreten. Der Absatz dieser wie aller umliegenden Quellen ist Kieselsinter; der frische Absatz ist gelatineartig weich, allmählich erhärtet er zu einer zerreiblichen, sandig sich anfühlenden Masse, und endlich bildet sich aus den übereinander abgelagerten Schichten ein festes Gestein von der mannigfaltigsten Beschaffenheit an Farbe und Struktur an verschiedenen Stellen.

„Die Hauptquelle jedoch, welcher jene große Sprudelschale vorzugsweise ihre Entstehung verdankt, liegt dicht am Fuße der ansteigenden Hügel; es ist ein gewaltiger, beständig 2—3 Fuß

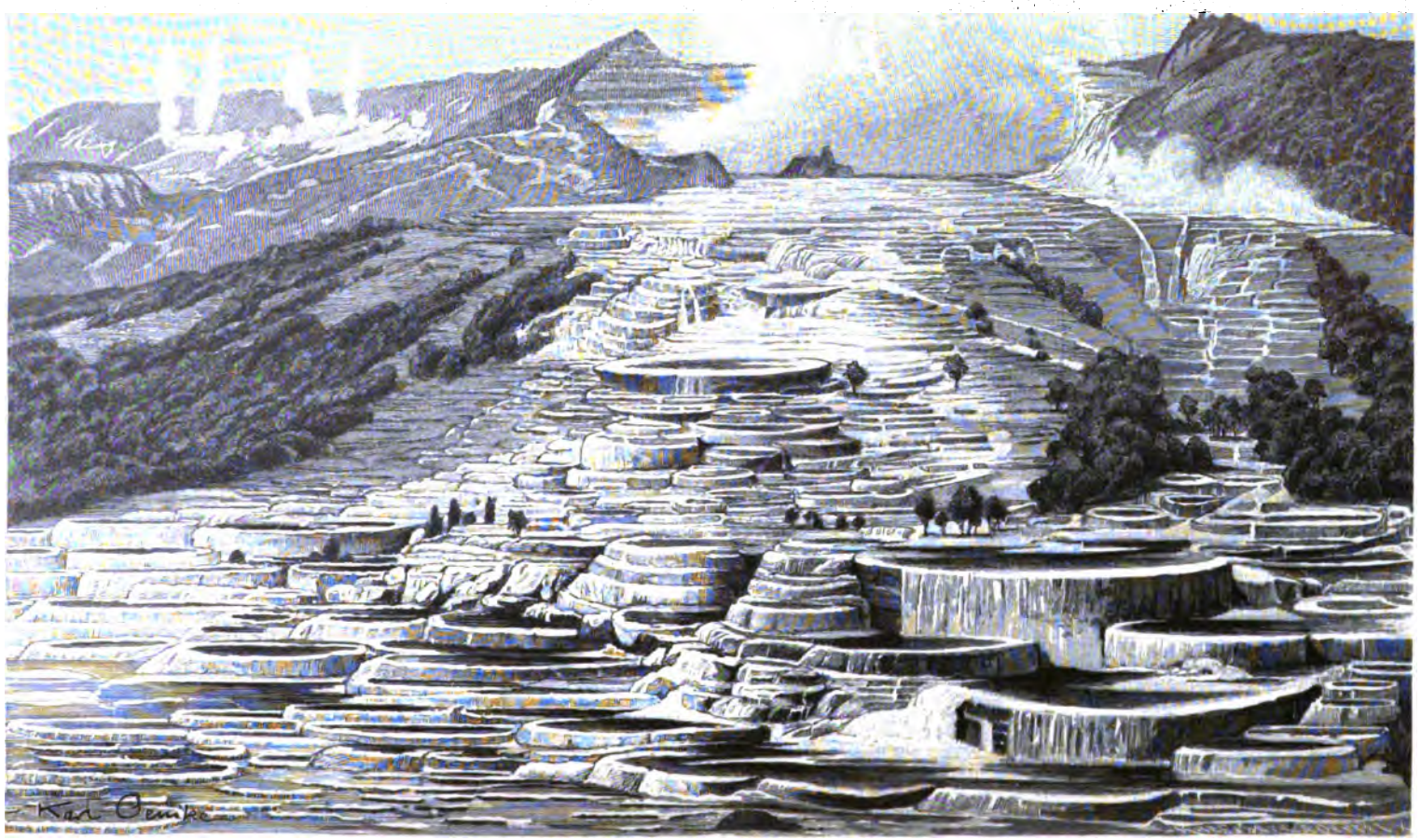
hoch aufwallender Sprudel, deſſen klares Waſſer eine Temperatur von 98° C. zeigte. Der mich begleitende Häuptling erzählte mir, daß dieſer Sprudel nach dem Erdbeben von Wellington im Jahre 1848 zwei Jahre lang ein Geiſer geweſen ſei, der gegen 100 Fuß hoch ſprang (wohl etwas Übertreibung dabei) und mit furchtbarer Gewalt ſelbſt große Steine, die man hineinwarf, wieder ausſchleuderte."

Eine zweite nicht minder merkwürdige Lokalität auf Neuſeeland bildet der auf derſelben Zone wie Orakaikorako gelegene See Rotomahana, ungefähr in der Mitte zwiſchen dem Taupoſee und der Küſte. Die herrlichen Sinterterraſſen dieſer Gegend ſind, wie ſchon im Vorhergehenden (S. 264) beſchrieben wurde, durch den verheerenden Ausbruch des Tarawera im Jahre 1886 gänzlich zerſtört worden, und das ganze Gebiet hat durch die Bildung der 15 km langen Tarawerafpalte und die hydrothermalen Ausbrüche daran ein völlig anderes Ausſehen erhalten. Um ſo wertvoller iſt unter dieſen Umſtänden die lebendige Schilderung, die F. von Hochſtetter von dieſem merkwürdigen Orte entworfen hat:

„Ich glaube nicht, daß der erſte Eindruck, welchen der kleine, ſchmutzig grüne See mit ſeinen ſumpfigen Ufern macht, irgend den Erwartungen eines Reiſenden entſpricht, der ſoviel von den Wundern dieſes Sees gehört hat. Er entbehrt jeglicher landſchaftlicher Schönheit, das, was ihn zu einem der merkwürdigſten aller Neuſeelandſeen, ja zu einem der merkwürdigſten Punkte der ganzen Welt macht, muß ganz aus der Nähe betrachtet werden und liegt für das Auge des Ankommenden zumeiſt verſteckt. Nur die überall aufſteigenden Dampfwolken laſſen ahnen, daß es hier wirklich etwas zu ſehen gibt.

„Wir ließen uns auf der Inſel Puai, einer Felsklippe im See, nieder, wo für zeitweilige Beſucher kleine Hütten errichtet ſind. Ich glaube aber, wer nicht wüßte, daß hier ſchon andere vor ihm wochenlang gewohnt haben, der würde ſich nach näherer Unterſuchung des Platzes nur ſchwer entſchließen, auch nur eine Nacht hier zuzubringen. Es iſt kaum anders, als ob man in einem thätigen Krater wohnen würde; rings um ſich hört man fortwährendes Sauſen und Brauſen, Ziſchen und Kochen, und der ganze Boden iſt warm. In der erſten Nacht fuhr ich erſchreckt auf, weil es in der Hütte auf dem Boden, wo ich lag, trotz einer dicken Unterlage von Farnkraut und trotz der wollenen Decken, die mein Lager bildeten, nach und nach von unten her ſo warm wurde, daß ich es nicht mehr ertragen konnte. Ich unterſuchte die Temperatur, ſtieß mit dem Stocke ein Loch in den weichen Thonboden und ſteckte das Thermometer hinein; es ſtieg augenblicklich auf Siedehitze, und als ich es wieder herauszog, ſtrömte heißer Waſſerdampf ziſchend hervor, ſo daß ich das Loch eiligſt wieder verſtopfte. In der That iſt die Inſel nichts anderes als ein zerriſſener, zerklüfteter und durch heiße Dämpfe und Gaſe zerſetzter lockerer Fels, der, förmlich weich gekocht in dem warmen See, jeden Augenblick zu zerfallen droht. Ringsum ſprudelt teils über, teils unter dem Waſſerſpiegel heißes Waſſer hervor, und an unzähligen Stellen ſtrömt heißer Waſſerdampf aus, den wir nach Anleitung der Eingeborenen zum Kochen gebrauchten. Wo man nur ein wenig in die Erde grub oder die vorhandenen Felsſpalten von den Kruſten reinigte, die ſich darin gebildet hatten, da war der Ofen fertig, auf dem man über ausgebreiteten Farnkräutern die Kartoffeln und das Fleiſch in Dampf kochen konnte.

„Der Rotomahana iſt einer der kleinſten Seen der Seegegend; den Namen ‚warmer See' führt er mit vollem Rechte, die Menge kochend heißen Waſſers, welche an den Ufern und auf dem Boden des Sees dem Boden entſtrömt, iſt koloſſal, und natürlich wird der See davon ganz erwärmt. Verſucht man es, die Temperatur zu beſtimmen, ſo findet man, daß dieſe an verſchiedenen Punkten ſehr verſchieden iſt; wo aufſteigende Gasblaſen andeuten, daß an dem Boden des Sees eine warme Quelle entſpringt, wird man das Thermometer oft auf 30—40° C. ſteigen ſehen, in der Nähe der Einmündung einiger kalter Bäche findet man nur 15—20° C., als mittlere



Die Sinterterrassen des Tetarata-Sprudels, Neuseeland. (Nach F. von Hochstetter.)

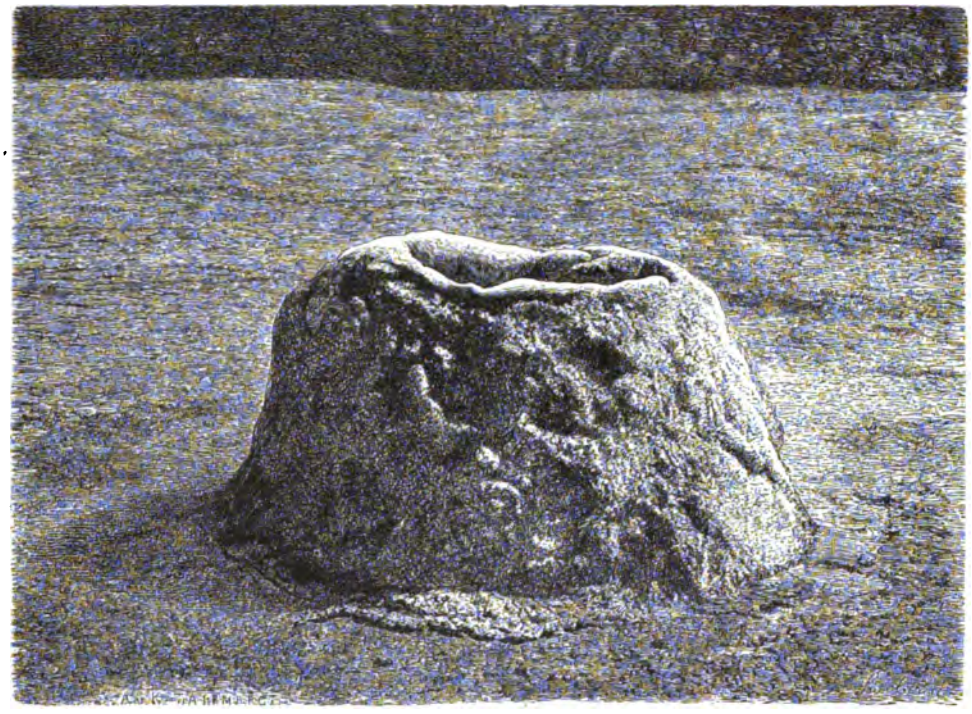
Temperatur kann man 26° betrachten. Wenn man badet und ein Stück weit durch den See schwimmt, so fühlt man recht gut den fortwährenden Wechsel der Temperatur, muß sich aber dabei wohl in acht nehmen, damit man heißen Quellen nicht allzu nahe kommt.

„Das hauptsächlichste Interesse knüpft sich an das östliche Ufer; da liegen die bedeutendsten Quellen, welchen der See seinen Ruf verdankt, und die zum Großartigsten gehören, was man überhaupt an heißen Quellen kennt. Obenan steht Tetarata (der Tättowierte) am nordöstlichen Ende des Sees; dieser gewaltige kochende Sprudel mit seinen weit in den See hineinreichenden Sinterterrassen ist das wunderbarste unter den Wundern des Rotomahana (s. die beigeheftete Tafel „Die Sinterterrassen des Tetaratasprudels auf Neuseeland"). Etwa 80 Fuß hoch über dem See, an einem farnbewachsenen Hügelabhang, von welchem an zahlreichen durch Eisenoxyd geröteten Stellen Wasserdämpfe entweichen, liegt in einem kraterförmigen, nach der Seeseite gegen Westen offenen Kessel mit steilen, 30—40 Fuß hohen, rot zersetzten tonigen Wänden das große Hauptbassin des Sprudels. Es ist 80 Fuß lang und 60 Fuß breit und bis an den Rand gefüllt mit vollkommen klarem, durchsichtigem Wasser, das in dem schneeweiß übersinterten Becken wunderschön blau erscheint, türkisblau oder wie das Blau mancher Edelopale. Am Rande fand ich eine Temperatur von 83° C., in der Mitte aber, wo das Wasser fortwährend mehrere Fuß hoch aufwallt, wird es Siedehitze haben. Ungeheure Dampfwolken, die das schöne Blau des Beckens reflektieren, wirbeln auf und verhindern meist den Anblick der ganzen Wasserfläche; aber das Geräusch des Aufwallens und Siedens kann man stets deutlich vernehmen. Akutina, der Eingeborene, der mir als Führer diente, sagte aus, daß bisweilen plötzlich die ganze Wassermasse mit ungeheurer Gewalt ausgeworfen werde, und daß man dann gegen 30 Fuß tief in das leere Bassin blicken könne, welches sich aber sehr schnell wieder fülle. Die Bestätigung dieser Angabe wäre von großem Interesse; wenn dem so ist, so ist die Tetarata-Quelle ein in langen Perioden spielender Geiser, dessen Eruptionen an Großartigkeit vielleicht den berühmten Ausbrüchen des Großen Geisers auf Island gleichkommen. Das Tetarata-Becken ist größer als das Geiserbecken, die ausgeworfene Wassermasse muß daher eine ungeheure sein.

„Das Wasser besitzt in hohem Maße die Eigenschaft, zu versteinern oder, richtiger gesagt, zu übersintern und zu inkrustieren; der Absatz ist, wie bei den isländischen Quellen, Kieselsinter, und der Abfluß des Sprudels hat daraus am Abhang des Hügels ein System von Terrassen gebildet, die, weiß, wie aus Marmor gehauen, einen Anblick gewähren, den keine Beschreibung wiederzugeben vermag. Es ist, als ob ein über Stufen stürzender Wasserfall plötzlich in Stein verwandelt worden wäre. Man muß diese Treppen hinaufgestiegen sein und die Einzelheiten der Struktur beobachtet haben, um den vollen Eindruck von dem wunderbaren Bau zu erhalten. Der weit ausgebreitete Fuß reicht nicht weit in den Rotomahana hinein; darauf beginnen die Terrassen mit niederen Absätzen, welche seichte Wasserbecken tragen; je weiter nach oben, desto höher werden die Terrassen, 2, 3, manche auch 4—6 Fuß hoch. Sie sind von einer Anzahl halbrunder Stufen oder Becken gebildet, von welchen sich jedoch nicht zwei in ganz gleicher Höhe finden. Jede dieser Stufen hat einen kleinen, erhabenen Rand, von welchem zarte Tropfsteinbildungen auf die tiefere Stufe herabhängen, und eine bald breitere, bald schmälere Plattform, die ein oder mehrere im schönsten Blau schillernde Wasserbecken umschließt. Sie bilden ebenso viele natürliche Badebassins, die der raffinierteste Luxus nicht prächtiger und bequemer hätte herstellen können. Man kann sich die Bassins seicht oder tief, groß oder klein auswählen, wie man will, und von jeder beliebigen Temperatur, da diejenigen auf den höheren, dem Hauptbassin näher gelegenen Stufen wärmeres Wasser enthalten als die auf den tieferen Stufen. Einige der Becken sind so groß und tief, daß man bequem darin umherschwimmen kann. Indem man die Stufen hinaufsteigt, muß man in dem lauwarmen Wasser waten, das neben den tieferen Becken auf den Plattformen der Stufen

Sinterkegel des Castle-Geisers im Yellowstone-Park. (Nach Photographie.) Vgl. Text, S. 438 u. 440.

sich ausbreitet, aber selten über die Knöchel reicht. Man darf sich keine dampfenden Kaskaden von Stufe zu Stufe denken; nur ausnahmsweise, bei heftigen Wassereruptionen aus dem Hauptbassin, mag das der Fall sein, für gewöhnlich rieselt wenig Wasser über die Terrassen, und nur der Hauptabfluß an der Südseite bildet einen heißen Bach mit dampfenden Wassersäulen. Hat man die höchste Terrasse erreicht, so befindet man sich auf einer breiten Plattform, in die mehrere 6—7 Fuß tiefe Badebassins eingesenkt sind, deren Wasser eine Temperatur von 30—50° C. hat. In der Mitte dieser Plattform erhebt sich inselartig dicht am Rande des Hauptbeckens ungefähr 12 Fuß hoch eine mit Gebüsch, mit Moosen, Lykopodien und Farnen überwachsene Felsinsel, die man ohne Gefahr betreten kann, und von der man in den blauen, kochenden und

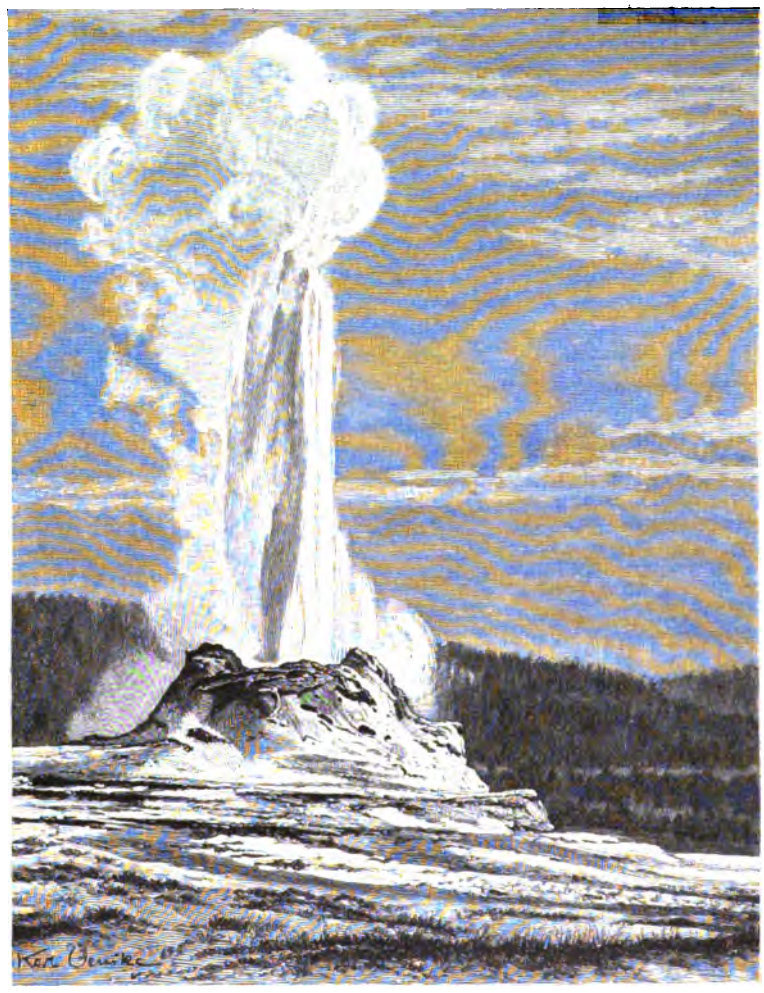


Sinterkegel des Beehive-Geisers im Yellowstone-Park. (Nach Photographie.) Vgl. Text, S. 440.

dampfenden Kessel hinabblickt. Das reine Weiß der Sinterbildungen im Gegensatz zum Blau des Wassers, zum Grün der umgebenden Vegetation und dem intensiven Rot der nackten Erdwände des Wasserkraters, alles das zusammen gibt ein Bild, das einzig in seiner Art ist."

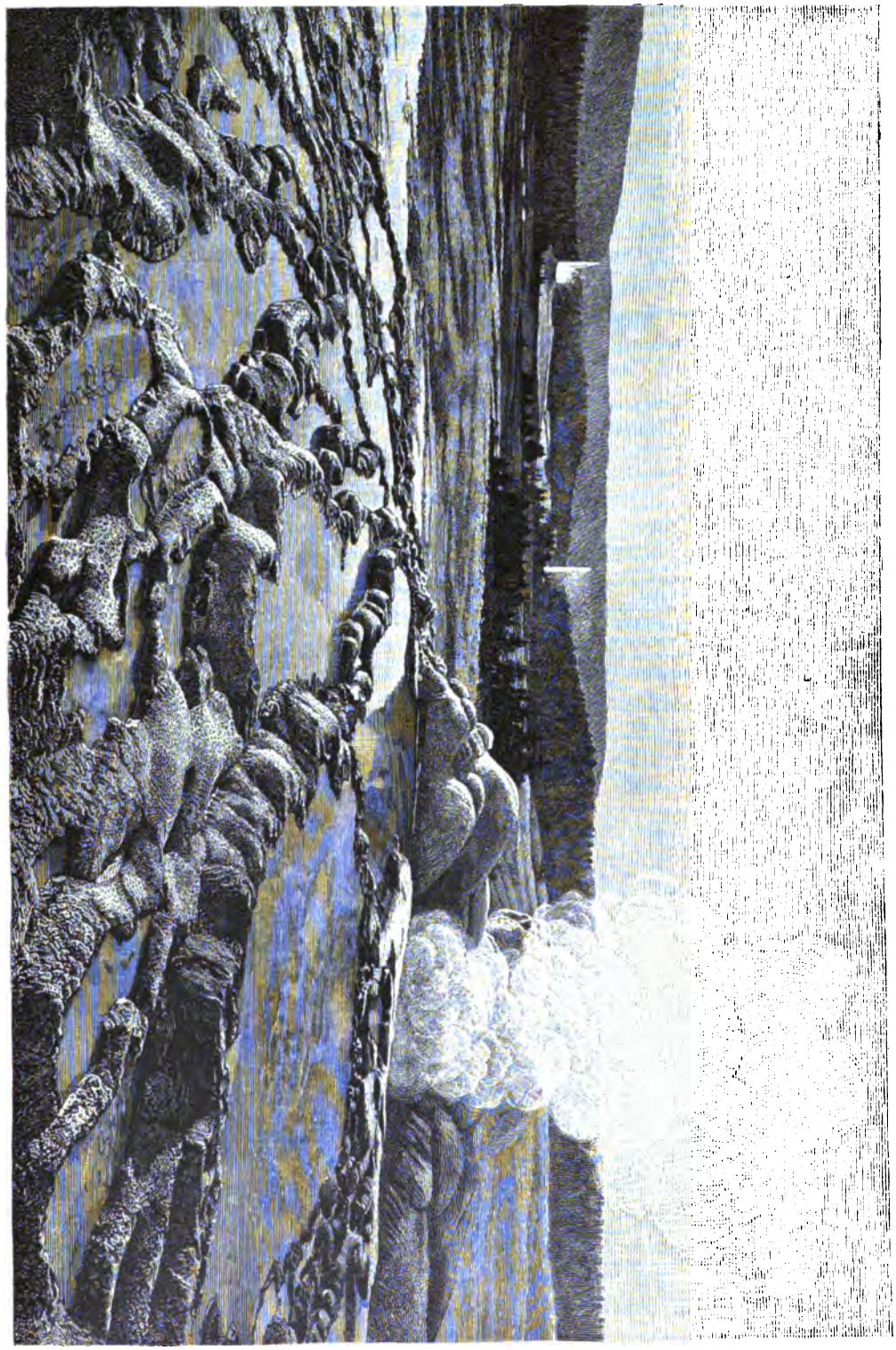
Außerordentlich zahlreich sind die ähnlichen Erscheinungen in derselben Gegend und auf der ganzen Strecke vom Taupōsee bis zur Plentybucht. Mag sich auch vielleicht keine der einzelnen Springquellen mit dem Großen Geiser auf Island zu messen im stande sein, so scheint doch das Phänomen der heißen Quellen auf Neuseeland im ganzen reicher entwickelt. Beiden überlegen ist aber die neuerdings berühmt gewordene Geiserregion des Yellowstone-Parkes in den Vereinigten Staaten von Nordamerika auf der Grenze zwischen den Territorien Wyoming und Montana. Dieses zauberhafte Gebiet in der Quellregion des Yellowstone, des Madison und des Snake River, das in einer Höhe von 2300—2670 m über dem Meere liegt und ebenfalls vulkanischer Natur ist, war bis vor einigen Dezennien der wissenschaftlichen Welt vollständig unbekannt. Wohl mochte einer oder der andere kühne Pionier, der sich, nach Erzen suchend, in

die unzugänglichen Regionen des Weſtens vorgewagt hatte, ſchon früher einen ſtaunenden Blick auf die mächtigen Waſſer- und Dampfſäulen geworfen haben, die hier periodiſch dem Boden entſteigen und zu Höhen bis zu 80 m emporgeſchleudert werden. Allein erſt im Jahre 1869 kamen durch Cook und Folſom nähere Nachrichten an das geologiſche Aufnahmeamt der Vereinigten Staaten in Waſhington, und 1871 und in den nächſtfolgenden Jahren wurden Expeditionen dorthin abgeſchickt, um eine genaue geographiſche und geologiſche Durchforſchung vorzunehmen, die auch unter der Leitung Haydens glücklich vollendet wurde. Heute iſt die noch vor wenigen Jahren nur für wohlausgerüſtete große Expeditionen erreichbare Geiſerregion leicht zugänglich, da die nördliche Pacificbahn unmittelbar dahin führt. Die Gegend wurde als Staatsdomäne und Nationalpark erklärt, um ſie vor vandaliſcher Zerſtörungswut und vor gewinnſüchtiger Ausbeutung zu ſchützen.



Sprudelnder Old Faithfull-Geiſer im Yellowſtone-Park. (Nach Photographie.)
Vgl. Text, S. 440.

Die Zahl der heißen Quellen in der näher unterſuchten Region wird auf 7000 geſchätzt. Darunter befinden ſich 84 echte, periodiſch ausbrechende Geiſer, die mächtige Abſätze von kieſeligem Sinter bilden (ſ. Abbildung, S. 436). An Großartigkeit der Eruption ſcheinen einige ſelbſt die gewaltigen Springquellen Islands zu übertreffen, indem ſie ihre Strahlen zu 80 m emporſchleudern. Zu den mächtigſten gehört der Rieſe (Giant), mit 3 m hohem und 5,5 m im Durchmeſſer meſſendem Auswurfskegel. Die Ruheperiode dieſes Geiſers dauert meiſt drei Tage, am vierten Tage aber tritt eine bis zu $3^1/_2$ Stunden währende Eruptionsperiode ein, wobei das Waſſer bis über 40 m hoch emporgeſchleudert wird. Heftige Dampfausſtrömungen bilden den Schluß der Eruption. Ähnlich iſt die Thätigkeit der „Rieſin“ (Gianteß), die ihren Gemahl an Macht noch übertrifft. Auch bei dieſem Geiſer ſind die Intervalle ungleich lang, ſie dauern



Umgebung des Old Faithfull-Geisers im Yellowstone-Part. (Nach Photographie.) Vgl. Text, S. 440.

oft mehrere Tage; dann folgt eine Eruptionsperiode mit verſchiedenen Ausbrüchen, die durch mehrſtündige Pauſen getrennt ſind. Hierbei ſteigt die Hauptmaſſe des Waſſers etwa 18 m hoch, während einzelne ſchwächere Strahlen bis zu 80 m Höhe emporſchießen. Bei dem Caſtle-Geiſer, deſſen burgähnlicher Sinterkegel auf S. 436 abgebildet iſt, beginnen die Ausbrüche mit lautem Toſen und Brüllen, das Waſſer wird aber meiſt nicht hoch emporgeſchleudert; zum Schluß der Eruptionen folgen ſtets gewaltige Dampfausſtrömungen. Der „Bienenſtock" (Beehive, ſ. Abbildung, S. 437) hat einen kleinen, ſehr regelmäßigen Sinterkegel, aus dem ungefähr einmal täglich eine gigantiſche Waſſerſäule bis zu 60 m Höhe hervorbricht, während der „Alte Getreue" (Old Faithfull) mit großer Regelmäßigkeit alle 50—70 Minuten ſeinen mächtigen Strahl 32, ja ſelbſt 42 m hoch ſchleudert (ſ. Abbildung, S. 438). Und neben ihnen treiben noch viele andere ihr wildes Spiel, und man findet alle möglichen Abänderungen in der Art der Thätigkeit und die verſchiedenſten Übergänge von den mächtigſten Erſcheinungen bis zu dem kleinen, unermüdlichen „Minutenmann", der in kurzen Zwiſchenräumen von $1/2$—$3\,1/2$ Minuten ſein Waſſer 7 m hoch auswirft. So geſtaltet ſich der Yellowſtone-Park zu einem Weltwunder, dem ſich kein ähnliches ebenbürtig zur Seite ſtellen kann (ſ. Abbildung, S. 439).

Wir haben oben die Frage aufgeworfen, ob auch die neuſeeländiſchen und nordamerikaniſchen Geiſer durch das Bunſenſche Prinzip eine befriedigende Erklärung erfahren. Wir dürfen dieſe Frage bei der typiſchen Übereinſtimmung der Erſcheinungen im allgemeinen bejahen. Eine Beſtätigung dafür bildet unter anderem auch die Thatſache, daß man die Puiatherme im Taraweragebiet durch Vertiefung der Ausflußöffnung um 60 cm in einen Springquell umwandeln konnte. Der Einfluß des hydroſtatiſchen Druckes der Waſſerſäule auf den Charakter der Thermen iſt dadurch ſehr klar erwieſen. Gewiſſe Abarten der Geiſererſcheinung, wie ſie Neuſeeland und der Yellowſtone-Park darbieten, machen es aber doch wahrſcheinlich, daß man nur mit der Bunſenſchen Erklärung nicht in allen Fällen auskommt. So wird man bei den gewaltigen Geiſern mit verlängerten Eruptionsphaſen und heftigen, andauernden Dampfausſtrömungen wohl auf das Vorhandenſein großer Dampfbehälter zurückgreifen müſſen, in denen unabhängig vom Waſſer des Steigrohres Dampf gebildet werden kann. In anderen Fällen mögen auch nur Verengerungen des Quellkanals eine Verlängerung der Eruption bewirken. An der Geiſerſpalte von Whakarewarewa in Neuſeeland hat man das Spiel von ſieben Geiſern verfolgt, die ſich gegenſeitig in der Weiſe beeinfluſſen, daß, wenn z. B. Pohutu ſpringt, Waikoroihi in Ruhe verharrt und umgekehrt. Auch aus dem Yellowſtone-Park liegen Angaben über eine ähnliche „Sympathie" benachbarter Geiſer vor. Wenn auch die Unterſuchungen über dieſe Verhältniſſe heute noch nicht zum Abſchluß gekommen ſind, ſo iſt es doch mindeſtens wahrſcheinlich, daß ſie eine Abänderung oder Ergänzung der Bunſenſchen Erklärung notwendig machen werden.

Die Regelmäßigkeit der Geiſerthätigkeit iſt in vielen Fällen erſtaunlich; man darf ſich aber bei der Beurteilung des wahren Weſens dieſer Erſcheinung nicht allzuſehr von dieſem Eindruck beherrſchen laſſen. Obwohl ſich nämlich unſere Beobachtungen nur über einen, geologiſch geſprochen, ſehr kurzen Zeitraum erſtrecken, haben wir doch Kenntnis von manchen Veränderungen, die an Geiſern eingetreten ſind. In Wirklichkeit ſind ſie in noch höherem Grade geologiſch kurzlebige Gebilde als die Vulkane. Ein Geiſer, der ſchwach und in kurzen Zeiträumen arbeitet, geht in einen gewöhnlichen Kochquell über. Bleibt die Waſſerzufuhr allmählich aus, ſo wird der Geiſer zur Dampfquelle, wie dies z. B. vom „brüllenden Geiſer" in Island bekannt iſt; nimmt dagegen die Dampfmenge ab, ſo verwandelt er ſich in eine einfache Therme. Dasſelbe kann auch geſchehen, wenn durch das allmähliche Wachſen des Steigrohres der hydrauliſche Druck zu groß wird. Umgeſtaltungen der Quellkanäle ziehen ebenfalls in vielen Fällen Veränderungen in der Thätigkeit

der Quellen nach sich. Man braucht hierbei nicht eben an jene großen Zerstörungen zu denken, die das Wiedererwachen der vulkanischen Kraft im Taraweragebiet hervorgerufen hat, wodurch eine Menge Geiser gänzlich vernichtet, andere dagegen neu geschaffen wurden; die allmähliche Auslaugung des erweichten und durch und durch zersetzten vulkanischen Untergrundes oder das Eintreten von Erdstößen genügt, das unterirdische Kanalsystem umzugestalten und die Verhältnisse der Geiser zu ändern. So kann man wohl sagen, daß die Geiser nur ein mehr oder weniger kurzes Stadium im Entwickelungsgang heißer Quellen darstellen.

Die Geiserthätigkeit läßt sich in mannigfaltiger Weise künstlich beeinflussen. Wenn das Wasser heftig gepeitscht oder umgerührt wird oder Steine in das Steigrohr geworfen werden, so erfolgt eine verfrühte und wohl auch verstärkte Eruption, wie wir an dem Beispiel des isländischen Strokkur gesehen haben. Dasselbe kann merkwürdigerweise auch durch einen Zusatz von Seife oder Lauge zum Thermalwasser erzielt werden. Die Ursache dieser Erscheinung, die zum erstenmal durch einen Chinesen beim Reinigen der Wäsche im Yellowstone-Gebiet ganz zufällig hervorgerufen wurde[1], ist noch nicht bekannt; ebenso weiß man noch nicht, warum dieses Mittel bei manchen Geisern versagt, z. B. bei der Gianteß. Noch eine andere, geologisch viel wichtigere Erfahrung verdanken wir dem Wunderland des nordamerikanischen Westens: der Absatz des Kieselsinters erfolgt nicht, wie man bisher meist angenommen hat, durch die einfache Abkühlung des kieselsäurehaltigen Wassers, sondern er wird durch Algenvegetation vermittelt. Gewisse fadenförmige Algen haben nämlich die Fähigkeit, noch bei 7° C. unter dem Siedepunkt zu leben; sie scheiden die Kieselsäure zunächst als Schleim aus und sterben allmählich im Inneren der schleimigen und sich langsam verhärtenden Kieselmasse ab, während sie an der Oberfläche weiter vegetieren. Der Kieselabsatz geht sehr langsam von statten. In günstigen Fällen mag er vielleicht 0,84 mm im Jahre betragen. Unter dieser Voraussetzung würde der Sinterkegel des Old Faithfull mindestens 25,000 Jahre zu seiner Bildung gebraucht haben.

Soviel wir bis jetzt wissen, sind nur kieselhaltige Thermen befähigt, Geiser zu bilden. Wohl setzen heiße Kalkquellen, und zwar ebenfalls unter Mitwirkung von Algen, ganz ähnliche Sinterterrassen ab wie die Kieselquellen, z. B. die Mammoth-hot-springs im Yellowstone-Park, die Quellen von Hammam Meskutin in Constantine, die von Pambeck-Kalessi bei Smyrna (Hierapolis), und es sollen auch einige der heißen Quellen von Mammoth-hot-springs eine in kurzen Zwischenräumen wiederkehrende Eruptionsthätigkeit äußern, aber als echte Geiser sind sie nicht anzusehen. Vielleicht erfolgt die Kalkabscheidung zu rasch, zu unregelmäßig und zu wenig dicht, vielleicht aber liegt die Ursache auch in anderen, noch unbekannten Verhältnissen.

In den meisten Gegenden, die Geiser und heiße Springquellen enthalten, finden sich auch heiße Schlammquellen, wie sie schon oben aus Neuseeland kurz erwähnt wurden. Diese unterscheiden sich von den einfachen Kochquellen nur dadurch, daß bei ihnen das heiße, oft unter hohem Dampfdruck stehende Wasser noch überdies mit schwefliger Säure oder Schwefelwasserstoff beladen ist. Unter der chemischen Einwirkung dieser Gase wie unter der mechanischen von Wasser und Dampf werden leichter zerstörbare Gesteine, wie Thon und vulkanische Tuffe, zersetzt, zu einer breiigen Masse aufgeschlämmt und mit zu Tage gefördert. Als Beispiel mögen die „Namar" Islands gelten. An einigen Stellen, am Vulkan Askja, am Myvatn (s. S. 201), vor allem aber in der Gegend von Reykjahlid, treten diese eigentümlichen Bildungen auf, die dem Auge ein widriges und häßliches Bild vorführen: „In einer ganz wagerechten, vegetationslosen Ebene von aschgrauer Färbung, die nach Norden von starren Lavaströmen, im Westen von

[1] Der betreffende künstlich erzeugte Geiser heißt seither „Chinaman".

einem Höhenzug mit Solfataren begrenzt wird, liegen vier größere und mehrere kleinere Schlammkessel, von verdächtigem Erdreich umgeben, das leicht unter den Füßen des Beobachters zusammenbricht. Ein graublauer, öfter noch blauschwarzer, widriger Schlamm, der für nichts tauglich zu sein scheint, als die Isländer von ekelhaften Hautausschlägen zu heilen, brodelt hier dampfumhüllt in kraterähnlichen Becken und wird von platzenden Blasen, die aus der Tiefe steigen, ununterbrochen in die Luft gespritzt." (Sartorius von Waltershausen.)

Diese Namar führen uns zu einer anderen Gruppe von Phänomenen, zu den Salsen und Schlammvulkanen, die an vielen Punkten der Erde, am häufigsten in vulkanischen Regionen, vorkommen und auch durch ihre häufige Vergesellschaftung mit Petroleum von Interesse sind. Weitaus am großartigsten treten derartige Erscheinungen im kaukasischen Gebiet auf. Hierher gehören ferner die sogenannten Salinellen von Paterno und einige ähnliche Vorkommnisse aus der Umgebung des Ätna, die Macaluba von Girgenti, die bedeutenden Salsen der weiteren Umgebung von Modena, der Höllenmorast nördlich von Kronstadt in Siebenbürgen. Aus fernen, außereuropäischen Gegenden sind namentlich die durch Alexander von Humboldt weit bekannt gewordenen Volcanitos von Turbaco in Neugranada (Südamerika), ferner die Schlammvulkane auf der westindischen Insel Trinidad, auf der an der Küste von Hinterindien (Arracan) gelegenen Insel Cheduba und auf Java zu nennen.

Die Natur der Gase, deren Ausströmen das Aufwallen des Wassers und dessen starke Reibungswirkung auf leicht zerstörbare Gesteine bedingt, ist bei verschiedenen Salsen verschieden. Während aus den Salinellen von Paterno und den benachbarten Schlammquellen sowie aus dem Höllenmorast nördlich von Kronstadt Kohlensäure strömt, kommen bei der großen Macaluba von Girgenti, bei den imposanten Schlammvulkanen der kaukasischen Region, überhaupt in der Mehrzahl der Fälle Kohlenwasserstoffe zu Tage. Die merkwürdigen Verhältnisse dieser Salsen sind weit weniger allgemein bekannt, als sie es verdienen; wir wollen daher ihre äußere Erscheinung an einigen Beispielen kennen lernen.

Die Macaluba von Girgenti, die schon von Schriftstellern des Altertums erwähnt wird, ist wohl der bekannteste Typus der ganzen Kategorie. Im Jahre 1751, als Dolomieu sie besuchte, lagen die Ausbruchspunkte auf einem etwa 50 m hohen, sehr flach ansteigenden Hügel von sehr veränderlicher Gestalt. Auf dem Gipfel des Hügels fanden sich zahlreiche kleine Kegel von höchstens 1 m Höhe, von denen jeder oben eine trichterförmige Vertiefung trug. In denselben steigt alle 2—3 Minuten flüssiger Schlamm bis zum Rande empor und bläht sich zu einer halbkugeligen Blase auf, die unter starkem Geräusch platzt, wobei der Schlamm teils herumgeschleudert wird, teils in die Tiefe des Trichters zurücksinkt. Der ausgeworfene Schlamm bildet einen Thonboden, der beim Austrocknen rissig wird, während bei Regenwetter die Thonmassen erweichen und das Ganze sich in einen großen, mit halbflüssigem Schlamm erfüllten Tümpel verwandelt. Etwas anders fand Friedrich Hofmann 50 Jahre später die Macaluba: „In einer wenig erhöhten Thonebene sind auf einer Fläche von etwa 150 Schritt Länge und 50 Schritt Breite etwa 30 zwischen 2 und 3 Fuß hohe Schlammkegel aufgeworfen; jeder trägt auf der Spitze eine etwa fußgroße, trichterförmige Vertiefung, welche mit Salzwasser erfüllt war, und stets ward die Oberfläche dieser kleinen Wasseransammlungen von austretenden Gasblasen in brodelnder Bewegung erhalten, wobei sich nicht selten an den Abhängen dieser Kegel über die Ränder der kleinen Krater kleine Ströme der mit Salzwasser getränkten Thonmasse ergossen, welche das Bild kleiner Lavaströme gleichsam spielend wiederholten."

Über die Salinellen von Paterno schreibt Lasaulx: „Die Salinellen sind über einer flachen Terrainwölbung von einigen Morgen Umfang verbreitet und führen einen hellen Schlamm empor, der rings den Boden mit einer zum Teil noch so weichen Kruste bedeckt, daß man stellen-

weise tief in dieselbe einsinkt. Als ich am 7. Oktober 1878 die Salinellen sah, befand sich auf dem flachen Hügel eine Zahl von 23 kreisrunden Öffnungen, deren größte 1—2 Fuß Durchmesser hatte, meist mit grauem, schlammigem Wasser gefüllt, welches durch entweichende Gasblasen heftig aufbrodelte und dann den Schlamm über den Rand zum Ausfließen brachte. Die Temperatur des Wassers schwankte zwischen 20 und 26° C. Die kleinen Kraterbecken sind aus einem graublauen thonigen Kalksinter gebildet, der in vielen feinen Lagen übereinander liegt. Die nicht mit Wasser gefüllten Öffnungen ließen das Gas nicht unmittelbar wahrnehmen, wenn man aber die Hand über eine solche hielt, fühlte man deutlich den gegen dieselbe strömenden warmen Luftzug. Die Öffnungen wechseln sehr oft ihre Stelle, die einen verstopfen sich, und andere brechen auf. Die Thätigkeit war keineswegs eine heftige, das Aufwallen und Überfließen erfolgte sehr ruhig, nur begleitet von dem gurgelnden Geräusch der entweichenden Gasblasen. Doch hatte vor kurzer Zeit aus einer auf dem höchsten Teile des Terrains gelegenen Öffnung ein heftiger Schlammauswurf stattgefunden.

„Die letzte größere Eruption der Salinellen fällt in das Jahr 1866; am 15. Januar ereignete sich ein Erdbeben, und am 22. Januar war der Ausbruch der Salinellen in vollem Gange; als Professor Silvestri an Ort und Stelle ankam, war das Terrain in einen Schlammteich von etwa 800 qm Oberfläche verwandelt, zahlreiche Krater, deren Durchmesser bis zu 2 m betrug, hatten sich gebildet. Aus einzelnen derselben stieg eine dicke Säule warmen Schlammes empor, schäumend durch die große Menge von Gas, welches mit eigentümlichem Geräusch durch den Schlamm hindurchdrang. Als Silvestri an einer Stelle des Terrains im Boden eine Grube auswerfen ließ, begann dort sofort schlammiges Wasser mit Gewalt emporzudringen, und zwei Tage später waren dort zwei vollständige Krater entstanden, welche die anderen ihnen zunächst liegenden zur Unthätigkeit gebracht hatten. Es geht daraus hervor, daß die Verteilung der Ausbruchstellen im ganzen Becken größtenteils zufällig und nur von der Beschaffenheit und Durchdringbarkeit des Bodens abhängig ist.

„Sehr bald nach meinem Besuche bei den Salinellen von Paterno im Oktober 1878 traten dieselben neuerdings in gesteigerte Thätigkeit, die wiederum durch eine Reihe von Erderschütterungen eingeleitet wurde. Im Gefolge dieser Erschütterungen begann im Monat Dezember der Ausbruch der Schlammvulkane und dauerte in sehr wechselnder, im allgemeinen aber abnehmender Stärke bis in den Januar hinein fort. Nach Silvestri ereigneten sich die ersten Erscheinungen heftigen Aufsprudelns und der Bildung zahlreicher neuer und größerer Kraterbecken am 19. Dezember, doch schwächte sich die Energie der ersten Tage bald ab. Aber sie erwachte wieder mit vollem Ungestüm, nachdem am 24. Dezember um 9 Uhr 20 Minuten abends ein heftiges Erdbeben während 8 Sekunden den ganzen östlichen Teil Siziliens bewegt hatte. Nach diesem Stoße blieb die Schlammeruption etwa zwei Tage im Stadium heftiger Erregung; zahlreiche Krater warfen über das ganze Terrain hin bis zu 2 und 3 m hohe Schlammfontänen empor; dann nahm die Thätigkeit wieder ab, Ende Januar waren noch zehn Öffnungen vorhanden, die nur ein schwaches Überströmen zeigten, wie wir es am 7. Oktober gesehen hatten; sie arbeiteten vollkommen ruhig, ohne Erschütterungen des Bodens, die man während der eigentlichen Eruption gefühlt hatte, und ohne Geräusch. Das Wasser, das sie aussandten, schwankte in seiner Temperatur an verschiedenen Quellen zwischen 13 und 37°, während es zur Zeit der Eruption an einzelnen Stellen 46° C. gezeigt hatte. Die von Schlamm überflutete Fläche würde sich stark ausgebreitet haben, wenn man nicht den oberen Teil durch rasch errichtete Mauern eingedämmt hätte, da er benachbarte Felder und Orangengärten zu erreichen drohte."

Unter den oberitalienischen Schlammvulkanen ist der bedeutendste die Salse von Sassuolo bei Modena, über die Gümbel nach Mitteilungen von Stöhr folgendermaßen berichtet: „Die

Salſe von Saſſuolo iſt der Typus für jene Klaſſe von Schlammvulkanen, bei welchen nicht einfach Schlammmaſſen und Gaſe hervorgeſtoßen, ſondern auch Geſteinsfragmente in großer Menge zu Tage gefördert werden. Etwas über 2 km ſüdlich von Saſſuolo am Monte Gibbio gelegen, beſteht dieſe Salſe in den meiſt lang andauernden Ruheperioden aus wenigen unſcheinbaren, mit Salzwaſſer gefüllten Tümpeln, aus denen ſich Blaſen brennbaren Gaſes entwickeln. Im ſtärkſten Kontraſt gegen dieſe anſcheinend geringfügige Thätigkeit tritt dagegen die Salſe bei den zeitweiſe gewaltſamen Ausbrüchen mit den großartigſten Erſcheinungen hervor. Schon Plinius erwähnt den großartigen Ausbruch vom Jahre 90 v. Chr.; bei dem letzten vom Jahre 1835 floß der Schlamm über 1 km weit und füllte ein kleines Thälchen aus, die ganze Auswurfsmaſſe wurde auf 1½ Million Kubikmeter berechnet. Die Schlammſtröme haben große Ähnlichkeit mit Erdrutſchen, indem ſo zahlreiche ſcharfkantige Geſteinstrümmer in der Schlammmaſſe eingebettet ſind, daß häufig nur die Fragmente dem Auge ſichtbar werden; ſie beſtehen aus Flyſch und Macigno, denen glaukonitiſcher Sandſtein, Kalkſpatſplitter ꝛc. beigemengt ſind."

Weitaus am großartigſten treten dieſe Phänomene in der kaukaſiſchen Region auf, am Weſtende dieſes Gebirges auf den Halbinſeln Kertſch und Taman und noch ungleich gewaltiger an deſſen öſtlichem Ende am Rande des Kaſpiſchen Meeres, in der Nähe von Baku, auf der Halbinſel Apſcheron und in deren Umgebung, über die wir durch die klaſſiſchen Unterſuchungen von Abich Aufſchluß erhalten haben. In erſter Linie iſt dieſe letztere Region durch ihren unermeßlichen Reichtum an Petroleum ausgezeichnet, das in der Umgebung von Baku teils auf feſtem Lande, teils unter dem Waſſerſpiegel des Kaſpiſchen Meeres hervorquillt. Von der unglaublichen Menge dieſes wertvollen Stoffes, der hier auf einem Flächenraum von nur 8 qkm in der Tiefe der Erde verborgen iſt, gibt die Thatſache einen Begriff, daß in den erſten 9 Monaten des Jahres 1892: 3½ Millionen metr. Zentner Petroleum gewonnen wurden, obwohl die Ausbeutung des ſo wenig umfangreichen Naphthafeldes ſchon im Jahre 1832 begonnen hat und ſeit dem Jahre 1872 äußerſt intenſiv betrieben wird. Eine im März 1879 erbohrte Springquelle brachte ſo enorme Quantitäten zu Tage, daß im Beginn ihres Fließens ein 4000 Zentner faſſendes Reſervoir in einer Stunde gefüllt war. Im Jahre 1886 erbohrte man einen Springquell, der 50,000 metr. Zentner im Tage lieferte, und im März des Jahres 1893 waren ſechs Fontänen gleichzeitig thätig und ergoſſen zuſammen ungefähr 200,000 metr. Zentner Öl. Auch auf der Oſtſeite des Kaſpiſchen Meeres, gegenüber von Baku, auf der Inſel Tſcheleken, ſind reiche Petroleumlagerſtätten entdeckt worden: ein Bohrloch lieferte in 24 Stunden 3000 — 4000 Zentner.

In Verbindung mit dem Petroleum treten in der Umgebung von Baku mächtige Ausſtrömungen gasförmiger Kohlenwaſſerſtoffe auf, die, wenn man ſie entzündet, in rieſigen Flammenſäulen zum Himmel emporlodern. Es ſind dies die altberühmten heiligen Erdfeuer, die „allerdings jetzt teilweiſe im Dienſte der Induſtrie ſo reguliert ſind, daß ſie viel von ihrem ehemaligen poetiſchen Zauber eingebüßt haben".

In dieſem Gebiet finden ſich auch gewaltige Schlammvulkane. Wenn die mächtigen Ströme von Kohlenwaſſerſtoffgas auf ihrem Wege an die Oberfläche mit einer Waſſerader zuſammentreffen, ſo werden die teilweiſe ſehr dazu geeigneten Ablagerungen des dortigen Tertiärgebirges in großem Maßſtabe zerſtört und aufgeſchlämmt und in breiigen Maſſen ausgeworfen. Für gewöhnlich ſind allerdings nur einzelne Punkte in ſchwacher Thätigkeit, in langen Pauſen aber erfolgen Schlammeruptionen, in der Regel in Verbindung mit ſich entzündenden Gasausbrüchen, die alle ähnlichen Erſcheinungen in anderen Gegenden weit hinter ſich laſſen und an Maſſe des zu Tage geförderten Materials mit bedeutenden Ausbrüchen wirklicher Vulkane wetteifern. Bei dem großen Ausbruch des Lok Botan bei Baku am 5. Januar 1887 erreichte die Feuerſäule eine Höhe von nicht weniger als 600 m. Wiederholt haben ſich neue Inſeln im Kaſpiſchen Meer

durch Schlammaufschüttung gebildet, zuletzt im Frühjahr 1860 die Insel Kumani. Die Schlammvulkane jener Gegend treten in einer Anzahl paralleler und mit dem Gebirgsbau der Gegend in engem Zusammenhang stehender Linien auf, die sich stets als Antiklinalen erweisen, und mit ihrem Erscheinen gehen erhebliche Terrainbewegungen Hand in Hand, indem bedeutende Massen losen Gesteins von höher gelegenen Partien abgleiten und durch ihr Gewicht in tiefer liegenden Regionen lockeres Material aufstauen und aufschieben. Besonders intensiv sind diese Bewegungen, seitdem Bohrungen auf Petroleum in großem Maßstab ausgeführt worden sind, durch die der bisherige Gleichgewichtszustand gestört wird. Als Beispiel der Beeinflussung der Bohrungsfontänen durch die natürlichen Gasausbrüche sei erwähnt, daß der vorher genannte Springquell des Jahres 1886 bei der Eruption des Lok Botan zu fließen aufhörte und erst wiederkehrte, als an dem Schlammvulkan Ruhe eingetreten war. Man muß wohl annehmen, daß durch das Freiwerden gewaltiger Gasmassen bei dem Ausbruch des Lok Botan der Gasdruck in der Naphthaquelle derart vermindert wurde, daß sie nicht mehr zu Tage ausfließen konnte.

Der Wasser- und Gas-Geiser bei Kane in Pennsylvanien. (Nach Dana.) Vgl. Text, S. 446.

Es ist hier nicht der Ort, die tektonischen Beziehungen dieser Bildungen näher zu besprechen; nur als ein Beispiel mag eine der bedeutendsten Erscheinungen jenes Gebietes, der Schlammvulkan Arsena, genannt werden. Sein Krater hat etwa zwei Drittel der Größe des Vesuvkraters, er ist länglich-elliptisch mit niedrigen, steil abstürzenden Wänden und auf der nordwestlichen Seite des flachen Berggipfels, dessen Höhe ungefähr 330 m über dem Meere beträgt, eingesenkt. Seine 125—160 m breite Ausmündung führt zu einer auf tieferer Stufe gelegenen Kraterabteilung hinab, die große Wasseransammlungen umschließt; diese enthalten viel schwefelsaures Natron gelöst, und auch der Boden ringsumher ist mit dicken Krusten dieses Salzes bedeckt. Die Wasserbecken werden durch ziemlich warme Quellen gespeist, die durch fortwährendes Ausströmen brennbaren Gases in sprudelnder Bewegung erhalten werden. Ströme von Schlammlava, den Dimensionen dieses interessanten Doppelkraters entsprechend, nehmen wie in einem breiten Kanal auf der sanft gewölbten Scheitelfläche des mehrere Kilometer langen Hochrückens ihren Weg nach Nordwesten.

Für die Beurteilung der Natur und Bedeutung der Schlammvulkane ist die Untersuchung der von ihnen ausströmenden Produkte entscheidend. Es wurde schon betont, daß die breiige

Masse, die aus ihren Öffnungen quillt, nichts anderes ist als das Material leicht zerstörbarer Schichten, die von sehr stark mit Gas beladenen Quellen durchzogen, ausgewaschen und ausgeschlämmt wurden. Den Beweis hierfür liefert der Umstand, daß der Auswurf der Schlammvulkane unter dem Mikroskop keine Spur vulkanischer Elemente, von Asche, Bimsstein 2c. zeigt, wohl aber in vielen Fällen die Schälchen mikroskopisch kleiner Meerestiere, von Foraminiferen und Radiolarien, wie sie massenhaft in den umgebenden Tertiärschichten vorkommen. „Die ausgestoßene Schlammmasse ist nichts anderes als erweichtes, aus der unmittelbaren Umgebung stammendes oder aus nicht beträchtlicher Tiefe emporgeschobenes thoniges oder thonig-sandiges Schichtgestein, welches oft noch organische Überreste enthält." (Gümbel.)

Mannigfache Bedingungen müssen zusammentreffen, um das Zustandekommen eines Schlammvulkans zu ermöglichen; ein Gasstrom, der aus einiger Tiefe emporbringt, muß auf seinem Wege eine Quellader finden, und beide vereint müssen sich dann durch ein sehr leicht zerstörbares Terrain bewegen. Trifft das Gas auf keinen aufsteigenden Wasserstrang, so erhalten wir eine trockene Exhalation, wie die Erdfeuer von Baku oder der aus einem Serpentingebiet aufsteigende Kohlenwasserstoffstrom der Chimära in Lykien. Vereinigen sich Gas und Wasser in geeigneter Weise, ohne auf genügend weiche thonige Schichten zu stoßen, so erhalten wir einfach eine gasreiche Quelle, wie z. B. die von Iwonicz in Galizien. Sehr deutlich tritt das bei manchen Vorkommnissen der großen pennsylvanischen Petroleumregion in Nordamerika hervor. Auch hier steigen, wie in den kaukasischen Erdöldistrikten, oft große Mengen von Kohlenwasserstoffgas empor; sie gesellen sich oft zu Quellen, aber es fehlt an weichen Gesteinen, denen sie Schlamm entnehmen könnten. Ein solches Beispiel bietet der sogenannte Wasser- und Gas-Geiser bei der Stadt Kane in Pennsylvanien (s. Abbildung, S. 445). Hier wurde eine Bohrung zu einer Tiefe von 2000 Fuß niedergetrieben, und aus dem Bohrloch sprang im Jahre 1879 in Zwischenräumen von etwa 13 Minuten ein 100—150 Fuß hoher Strahl von Wasser und Gas empor, wobei sich das Gas sehr oft entzündet, aufflammt und wieder erlischt, um im nächsten Augenblick wieder in Brand zu geraten. Auch in Europa, und zwar im andesitischen Gebirge von Rank-Herlein bei Kaschau, wurde ein periodischer Springquell erbohrt. Ungefähr dreimal des Tages wird hier eine mächtige Mineralwassersäule bis 30 m hoch emporgeschleudert. Das treibende Gas besteht in Rank-Herlein hauptsächlich aus Kohlensäure.

Chemische Wirkung des Wassers.

Jede Quelle bringt eine bald größere, bald kleinere Menge mineralischer Stoffe gelöst an die Oberfläche. Dieses Material ist dem anstehenden Gestein entnommen und kommt in der einen oder der anderen Form früher oder später wieder zur Ablagerung. Es entstehen demnach auf diesem Wege Veränderungen der Erdfeste, die einen wichtigen Gegenstand geologischer Untersuchung bilden.

Die zerstörende Wirkung des Wassers ist von zweierlei Art: es tritt einerseits als chemisches Lösungsmittel auf, anderseits übt es eine rein mechanische Aktion, wobei es allerdings noch durch eine ganze Reihe anderer wichtiger Agenzien unterstützt wird. Eine Anzahl gesteinsbildender Mineralien löst sich in reinem Wasser sehr leicht auf. Dies gilt insbesondere vom Steinsalz und den verschiedenen ähnlich konstituierten Salzen. Ebenso wird Gips, wenn auch nicht so leicht, in großer Menge vom Wasser aufgelöst. Wo daher diese Materialien in Massen vorhanden und der Berührung zirkulierender Gewässer ausgesetzt sind, werden oft mächtige Hohlräume, „Gipsschlotten", unterirdisch ausgelaugt und lassen die höher gelegenen Gesteine hinab-

brechen. So kommt es, daß gips- und salzführendes Gebirge sehr häufig einen durch solche Vorgänge sehr stark gestörten und unregelmäßigen Bau zeigt.

Weit geringer sind die Einwirkungen des reinen Wassers auf den Kalkstein, wenn es nicht Kohlensäure und in dieser ein Lösungsmittel für den Kalkstein absorbiert enthält. Zwar vermag das Wasser, auch wenn es Kohlensäure führt, weit weniger Kalk als Gips oder Steinsalz aufzunehmen, aber bei der sehr viel größeren Verbreitung des Kalkes in der Natur ist dennoch die Umgestaltung, die durch Auflösung des Kalkes vor sich geht, viel bedeutender und wichtiger, wie denn auch in der großen Mehrzahl der Flüsse kohlensaurer Kalk unter den gelösten Substanzen am stärksten vertreten ist. Erst wenn man die Menge des in den Flüssen gelösten kohlensauren Kalkes einer näheren Berechnung unterzieht, gelangt man zu einer richtigen Vorstellung von der Bedeutung dieses Prozesses. So hat man z. B. gefunden, daß die dem Teutoburger Wald und der Haar entströmenden Flüsse dem Gebirge jährlich eine Quantität Kalkstein entziehen, die einem Würfel von mehr als 33 m Seitenlänge entspricht. Im Kalkgebirge findet der Lösungsvorgang auch unterirdisch statt, und die gewaltigen Hohlräume, die so entstehen können, geben einen handgreiflichen Beweis für die geologische Wichtigkeit dieser chemischen Wirkung des Wassers.

Nicht selten ist dem Kalkstein etwas kohlensaure Magnesia, Dolomit, beigemengt; ein Stoff, der ebenfalls in kohlensäurehaltigem Wasser, jedoch in viel geringerem Grade als Kalkstein, löslich ist. Wirkt nun Wasser auf einen dolomithaltigen Kalkstein ein, so wird natürlich hauptsächlich der kohlensaure Kalk der Lösung und Abfuhr anheimfallen, das Gestein wird dadurch eine allmähliche Bereicherung mit Dolomit erfahren, zugleich aber eine poröse oder zellige Struktur annehmen.

Aber nicht nur auf den Kalkstein, sondern auch auf eine große Menge anderer Gesteine und Mineralien wirkt das mit Kohlensäure beladene Wasser lösend und zersetzend ein. Da Kieselsäureverbindungen, sogenannte Silikate, weitaus die größte Rolle in der Natur spielen, so ist das Verhalten diesen gegenüber vor allem von Bedeutung; namentlich die Kieselsäureverbindungen von Kalk, Eisenoxydul, Kali, Natron werden angegriffen und die Karbonate (Kohlensäureverbindungen) dieser letzteren Körper weggeführt. War in einem Mineral nur einer der eben genannten löslichen Stoffe oder waren mehrere von diesen an Kieselsäure gebunden, so wird das Endergebnis des Vorganges sein, daß die auslaugbaren Bestandteile gänzlich fortgeführt werden. Zwar ist auch die ausgeschiedene Kieselsäure einigermaßen in Wasser löslich, namentlich wenn dieses Kali oder Natron enthält; allein sehr häufig kann dieser Prozeß mit jenem der Auslaugung von Karbonaten nicht Schritt halten, und dann bleibt die Kieselsäure allein zurück.

Weit häufiger aber als diese Fälle ist das Verhältnis, daß außer den bisher genannten Stoffen auch solche in den Silikaten vorhanden sind, die aus dieser Verbindung durch kohlensäurehaltige Wasser nicht oder nur sehr schwer und in verschwindender Menge abgeschieden werden. Es sind dies unter den häufig in der Natur auftretenden Stoffen namentlich Thonerde und Magnesia. In den Silikaten werden die anderen Substanzen unter gleichzeitiger Aufnahme von Wasser aufgelöst, und es bleiben als die Endprodukte einer derartigen Zersetzung wasserhaltige Thonerdesilikate zurück, wie Thon, Porzellanerde, oder Magnesiasilikate, wie Serpentin, Talk und Speckstein. Betrachten wir z. B. eins der häufigsten felsbildenden Mineralien, den Orthoklas oder Kalifeldspat, so finden wir unter Annahme der einfachsten Verhältnisse die folgende ursprüngliche Zusammensetzung des unzersetzten Körpers: Kieselsäure 64,6 Prozent, Thonerde 18,5 Prozent, Kali 16,9 Prozent. Bei ganz vollständiger Zersetzung gehen davon verloren 43 Prozent Kieselsäure und 16,9 Prozent Kali, während die Thonerde unberührt bleibt und 6,5 Prozent Wasser aufgenommen werden, so daß als Endprodukt der Zersetzung von 100 Teilen Orthoklas 46,6 Teile Porzellanerde von folgender Zusammensetzung zurückbleiben: Kieselsäure 21,6, Thonerde 18,5, Wasser 6,5, oder in Prozenten: Kieselsäure 46,4, Thonerde 39,7, Wasser 13,9.

Auf diese Weise werden ungeheure Mengen feldspathaltiger Gesteine zersetzt; der Rückstand, die Porzellanerde oder das „Kaolin", wird häufig in großen Mengen zusammengeschwemmt und bildet so die Lager, die das Material zur Porzellanbereitung liefern. Geht die Zersetzung nicht vollständig vor sich, und ist das Endprodukt ein unreines, so entsteht der gewöhnliche Thon.

Findet die Zersetzung der Silikate unter gleichzeitiger Einwirkung von Kohlensäure und Wasser statt, so vermag bei anderen Verbindungen auch bloße Wasseraufnahme bedeutungsvolle Veränderungen hervorzurufen. So verwandelt sich wasserfreier schwefelsaurer Kalk, sogenannter Anhydrit, wenn er ein Viertel seines Gewichts an Wasser aufnimmt, in Gips oder wasserführenden schwefelsauren Kalk. Die hierbei erfolgende Volumsvermehrung äußert sich in einer eigentümlichen Faltung und Aufreißung des Gesteins, wie dies schon bei Besprechung der Ursachen der Gebirgsfaltung erwähnt wurde (S. 356). In manchen Fällen geht diese Veränderung sehr rasch vor sich; so nehmen z. B. die zu Bex im Kanton Wallis aus dem Salzbergwerk herausgeförderten und auf die Grubenhalde gestürzten Anhydritstücke schon nach acht Tagen den Charakter von Gips an. Die durch Anhydrit führenden Stollen dieses Bergwerks werden dadurch, daß der Anhydrit an den Stollenwänden in Gips übergeht und sich dabei infolge der Wasseraufnahme aufbläht, nach einiger Zeit fast unfahrbar und müssen immer wieder nachgehauen werden. Aber auch ohne das Dazuthun des Menschen geht dieser Prozeß in der Natur in großem Maßstabe vor sich, wie man dies an den Anhydritmassen erkennen kann, die namentlich in den Schichten der Perm-, Trias- und Tertiärformation eingeschlossen sind.

Ein wichtiger Zersetzungsprozeß, der in der Natur sehr allgemein stattfindet, betrifft das kohlensaure Eisenoxydul, als Mineral Eisenspat genannt. In kleinen Mengen und fein verteilt kommt diese Verbindung in den meisten Sedimentärgesteinen vor. Die Kohlensäure des Eisenspates wird durch Wasser verdrängt, das Eisenoxydul verwandelt sich durch Sauerstoffaufnahme in Eisenoxyd, und so entsteht Eisenoxydhydrat, Limonit, dieselbe Verbindung, die uns im gewöhnlichen Leben als Rost entgegentritt. Dieser Prozeß geht meist sehr rasch vor sich: eisenspatführende Gesteine werden unter der Einwirkung der Atmosphärilien bald mißfarbig und nehmen bei größerem Gehalt an Eisen die gelbbraune Färbung des Limonits an. Bandförmig greift die Zersetzung nach innen, und während die äußeren Partien oft schon dunkelbraun gefärbt sind, zeigen die inneren unter allmählicher Abtönung nur Spuren der bezeichnenden braunen Rostfarbe. Am deutlichsten tritt diese Erscheinung namentlich bei vielen Sandsteinen mit eisenreichem Bindemittel auf; nicht selten führt die Umwandlung des Eisenkarbonats in Eisenoxydhydrat zur völligen Auflösung des Bindemittels, und solche Sandsteine zerfallen dann in verhältnismäßig kurzer Zeit in ihre Bestandteile, die einzelnen Sandkörner.

Es würde zu weit führen, in die sehr mannigfaltigen Einzelheiten der Einwirkung des Wassers auf Mineralien und Gesteine einzugehen. Die häufigsten und verbreitetsten unter ihnen liefern thonige Zersetzungsprodukte. Außerdem bleibt der Quarz, ein überaus wichtiger Gemengteil zahlreicher Felsarten, fast unberührt durch chemische Einwirkung; er bildet nach Zerstörung der übrigen Gemengteile Sand, und so sind in letzter Linie Thon und Sand die Hauptprodukte der lösenden Thätigkeit des Wassers, die beiden Körper, die in der Zusammensetzung der meisten Schichtsysteme eine so große Rolle spielen.

Ein Teil der vom Wasser gelösten Stoffe macht dessen Wanderungen bis zum Ozean mit und vermehrt dessen Salzgehalt; ein anderer ansehnlicher Teil der aufgelösten Substanzen wird dagegen unterwegs, während der Zirkulation des Wassers im Gestein, wieder in fester Form ausgeschieden. Bei diesen Vorgängen ist es von Wichtigkeit, daß sich die verschiedenen Verbindungen bei der Ausscheidung infolge von Molekularanziehung mit Vorliebe um oder an schon vorhandene feste Partien von derselben chemischen Zusammensetzung lagern. Wenn man

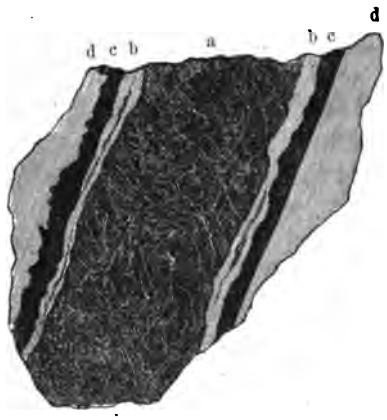
z. B. eine gesättigte Salzlösung allmählicher Verdunstung überläßt und einen Kristall desselben Salzes hineinlegt oder an einem Faden hineinhängt, so setzen sich die sich ausscheidenden Partien des Salzes vorzugsweise an diesem Kristall an. Ebenso verhält es sich in den Gesteinen, und es erfolgt daher sehr häufig auf diesem Wege eine Konzentrierung einzelner Bestandteile, indem sich die vom Wasser aufgelösten Gesteinsmengen um gewisse Mittelpunkte wieder abscheiden. Die Form, die diese Ansammlungen einer Substanz annehmen, ist sehr wechselvoll und von mannigfachen Bedingungen abhängig; Gips, Schwefelkies, bisweilen auch Kalkspat und Quarz liegen oft als lose, vollständig ausgebildete Kristalle in Thon, Mergel oder Sandstein; häufiger aber findet man mehr oder weniger kugelige oder zur Kugelgestalt hinneigende „Konkretionen", die aus Kalk, Gips, Hornstein, Jaspis, Schwefelkies, Thoneisenstein, Brauneisenstein, kurz aus sehr verschiedenen Mineralien bestehen können. Bisweilen sind sie im Inneren hohl, wenn die ursprünglich aufgequollene Masse einem Schrumpfungs- oder Austrocknungsprozeß ausgesetzt war; es kann sich sogar innerhalb einer solchen Hohlkugel wieder ein fester Kern, eine kleinere Kugel befinden, die man dann beim Schütteln im Inneren klappern hört. Solche „Klappersteine" haben in früherer Zeit großes Interesse erregt, ebenso wie gewisse auffällig geformte Konkretionen, die man an manchen Punkten findet, und die unter dem Namen von Laukasteinen, Imatrasteinen, Brillensteinen, Marlekor, Näkkebröd, Kunkurs in der älteren Litteratur eine große Rolle spielen. Wichtig sind sie jedoch nur insofern, als das Auftreten einzelner von ihnen für gewisse geologische Horizonte oder Bildungen sehr charakteristisch ist. Dies ist z. B. mit jenen seltsam geformten Kalkknollen der Fall, die im Löß vorkommen und in vielen Gegenden als Lößkindchen oder Lößmännchen allgemein bekannt sind.

Andere Verhältnisse finden sich da, wo in einem Gestein Hohlräume vorhanden sind, die mit auskristallisierenden oder amorph aus der wässerigen Lösung sich ausscheidenden Mineralien ganz oder zum Teil ausgefüllt werden. Solche Höhlungen, deren Wände von allen Seiten mit Kristallen bekleidet sind, die mit ihren wohl ausgebildeten Enden in das nicht ganz ausgefüllte Innere hineinragen, werden als *Drusen* bezeichnet. Als eine spezielle Art dieser Hohlräume sind die sogenannten *Mandeln* zu nennen, die sich in Gesteinen vulkanischen Ursprungs finden. Diese sind in der Regel durch Dampfblasen gebildet, die sich in der geschmolzenen Masse beim Erstarren gebildet haben und ihr einen schlackigen Charakter verleihen. Die Ausfüllung der Hohlräume in diesen „Mandelsteinen" ist sehr verschiedener Natur; am verbreitetsten sind wasserhaltige Silikate, die sogenannten Zeolithe, ferner Kalkspat und verschiedene andere Mineralien. Besonders hervorzuheben sind die oft prachtvoll gebänderten oder marmorierten Mandeln von Achat, einem Aggregat von kristallisierter und amorpher Kieselsäure.

Wichtiger sind die Ausscheidungen, die auf den sogenannten Gangspalten stattfinden. Die Spalten, an denen die großen Massenverschiebungen der Erdrinde vor sich gehen, sind zwar in vielen Fällen so beschaffen, daß die beiden Wände der Kluft unmittelbar aneinander anliegen und sich berühren; sehr oft aber bildet sich eine klaffende Spalte, die dann früher oder später in einer oder der anderen Weise ausgefüllt wird. Entweder geschieht dies von unten durch aufsteigende Massen von geschmolzenen Eruptivgesteinen, wobei sich dann Gesteinsgänge bilden, wie sie noch heute an den Vulkanen fast bei jedem Ausbruch neu entstehen. In anderen, allerdings weit selteneren Fällen findet eine Ausfüllung von obenher durch eingeschwemmte feste Teile statt, durch Thon, Sand oder Gerölle, denen oft auch Holzstücke, Zähne und Knochen von Tieren oder Schneckengehäuse beigemengt sind. Eine dritte Art der Ausfüllung ist die durch Ausscheidung und Auskristallisierung aus wässeriger Lösung. Als eine vierte Art der *Gangbildung* kann endlich noch angeführt werden, daß sich dampfförmige Produkte der Vulkane an den Wänden von Spalten verdichten. Wir wissen, daß z. B. im Krater des Vesuvs oft Verbindungen von

Kupfer und Blei auf dieſe Weiſe „ſublimieren“, und derſelbe Vorgang kann natürlich auch an den Wänden der Klüfte ſtattfinden. In der That wird von einer Reihe von Geologen ein großer Teil der Metallgänge, namentlich der Gold-, Silber- und Bleigänge, auf dieſe Entſtehungsurſache zurückgeführt. Wir können jedoch hier nicht auf dieſe Frage eingehen, die uns ſpäter bei der Beſprechung der nutzbaren Mineralien beſchäftigen wird.

Während bei den von unten durch eruptive Thätigkeit gebildeten Gangmaſſen, bei den Geſteinsgängen, die Ausfüllung aus den verſchiedenſten Maſſengeſteinen, aus Granit, Porphyr, Baſalt, Trachyt ꝛc. bis herauf zu den modernen Laven beſteht, verhalten ſich die Mineralgänge in ganz anderer Weiſe. Hier ſind Quarz, Kalkſpat, Schwerſpat, Flußſpat die häufigſten Vorkommniſſe, zu denen ſich, abgeſehen von einer Menge minder wichtiger Mineralien, noch als ein ſehr häufig wiederkehrender Beſtandteil die verſchiedenſten Erze geſellen. Gold, Silber, Kupfer, Zinn, Blei, Zink, Eiſen und andere treten bald gediegen (rein), bald in den verſchiedenſten chemiſchen Verbindungen auf, und ein ſehr großer Teil alles deſſen, was von dieſen Metallen zu Tage gefördert wird, ſtammt aus Gängen. Bisweilen beſteht der ganze Gang aus einer gleichmäßigen Mineralmaſſe, aus Quarz, Kalkſpat, Schwerſpat ꝛc., in anderen Fällen ſind verſchiedenartige Mineralien regellos miteinander gemengt; eine dritte Art des Vorkommens iſt die, daß dem oder den herrſchenden Gangmineralien andere in geringerer Menge eingeſprengt ſind.



Querſchnitt des Spitaler Ganges bei Schemnitz. (Nach Lipoldt.)

a) Eiſenkies, Bleiglanz, Zinkblende, Kupferkies mit Quarz, b b) weißer Quarz, c c) derbes Erz, d d) Muttergeſtein des Ganges (Trachyt).

Ein anderes Bild bieten die ſymmetriſch angeordneten Gänge, die in der Weiſe ausgefüllt werden, daß die einzelnen Mineralien oder Mineralkombinationen einander entſprechende Lagen längs der beiden Seitenwände der Gangſpalte bilden. So iſt z. B. der „Spitaler Gang“ in der Scheuchenſtuelzeche bei Schemnitz in Ungarn folgendermaßen zuſammengeſetzt: In der Mitte der Haupterzgang, eine faſt 1 m mächtige Maſſe von Eiſenkies, Bleiglanz, Zinkblende und Kupferkies, mit vielen Adern und Neſtern von weißem Quarz durchzogen; zu beiden Seiten war dieſe Maſſe eingeſäumt von einige Zentimeter mächtigen Lagen weißen Quarzes, die dann ihrerſeits wieder von etwas dickeren Lagen von derbem Erz eingefaßt waren. Dieſe ſtießen unmittelbar an den Trachyt, das Geſtein, in welchem der Gang „aufſetzt“, an. Dieſe Reihenfolge gibt uns in vollſter Klarheit die Geſchichte des Ganges: nach Bildung der Spalte entſtanden zuerſt an deren Wänden die beiden Lagen von derbem Erz, dann hörte die Zufuhr von Metallen zeitweilig auf, Kieſelſäurelöſung drang ein, und aus dieſer ſchieden ſich die beiden Lagen von weißem Quarz aus, während die in der Mitte gelegene Hauptgangmaſſe zuletzt entſtand und den in der Mitte vorhandenen hohlen Raum ausfüllte (ſ. obige Abbild.).

Dieſe Verhältniſſe, auf die zuerſt Werner aufmerkſam gemacht hat, ſind oft viel komplizierter, und gerade das Freiberger Bergrevier bietet ausgezeichnete Beiſpiele eines weit reicheren Wechſels. Werner ſchildert ſelbſt den Gregoriusgang, wo zu beiden Seiten zunächſt an dem Muttergeſtein Lagen von weißem Quarz liegen, worauf beiderſeits gegen innen Bleiglanz, Eiſenſpat, nochmals Bleiglanz, Grauſilbererz, Rotgüldigerz und Silberglanz folgen, während die Mitte von Kalkſpat, natürlich der jüngſten Bildung des ganzen Ganges, eingenommen wird.

Nicht immer findet jedoch eine ſolche Symmetrie ſtatt; oft ſind die Lagen an beiden Wänden nicht gleich entwickelt, oder es tritt der Fall ein, daß die normale ſymmetriſche Reihenfolge zerſtört

und unterbrochen ist und sich Mineralbildungen einstellen, die unter sich wieder symmetrisch liegen. Diese letzteren Vorkommnisse zeigen uns dann eine verwickelte Geschichte des Ganges: zuerst bildete sich eine Spalte und wurde von Mineral- und Erzausscheidungen ausgefüllt; nachdem dieser Prozeß vollendet, die Kluft ausgefüllt und vernarbt war, wiederholten sich dieselben tektonischen Erscheinungen, die deren erste Entstehung bedingt hatten, die alte Spalte riß wieder auf wie eine unvollkommen verheilte Wunde und wurde nun wieder durch Erze verschlossen, die wir in jener unregelmäßig in die normale Reihenfolge eingeschobenen Lage finden. Oft sind auch Stücke des einschließenden Nebengesteins in die Spalte hineingefallen. Solche sind unter Umständen in so großer Menge vorhanden, daß die ganze Gangmasse Breccienstruktur annimmt, wobei die Mineralien und Erze das Bindemittel zwischen den einzelnen Gesteinstrümmern bilden, um die sie bisweilen sehr schön in konzentrischen Lagen angeordnet sind: sogenannte Ringelerze.

Verwitterung.

Bei Gesteinen, von denen nur ein Teil der Substanz gelöst ist, zeigt sich der zurückbleibende Rest gelockert und zum Zerfall geneigt; das Gestein ist *verwittert*. Der Vorgang der Verwitterung ist einer der wichtigsten für die Oberflächengestaltung unserer Erde, er wird aber nicht durch die chemische Wirkung des reinen oder mit Kohlensäure beladenen *Wassers* allein hervorgebracht, sondern andere mächtige Faktoren kommen dieser Wirkung zu Hilfe, insbesondere die Eigentümlichkeit des Wassers, sich beim Gefrieren auszudehnen. Jedermann weiß, daß Eis im Wasser schwimmt; es ist leichter als dieses, es dehnt sich also beim Festwerden aus und zwar mit außerordentlicher Gewalt. Ein bekanntes Experiment zeigt z. B., daß man eine gußeiserne Bombe zum Platzen bringen kann, wenn man sie ganz mit Wasser füllt und dieses dann gefrieren läßt, nachdem die Öffnung der Hohlkugel fest verkeilt worden ist. In derselben Weise werden die Gesteine zerstört; in ihre Poren, Haarrisse und Sprünge bringt Wasser ein, und so oft dieses friert, sprengt oder lockert es seine Hülle. Besonders intensiv ist diese Wirkung in Gebirgen, wo starker und rascher Temperaturwechsel eintritt und namentlich die Nachtfröste häufig sind. In warmen Gegenden, wo die Temperatur selten oder nie auf den Nullpunkt herabsinkt, kann keine derartige Wirkung eintreten; aber auch ohne das Gefrieren des Wassers übt schon die oft wechselnde Erwärmung und Abkühlung einen zerstörenden Einfluß auf die Gesteine, wie das nach den Berichten der Reisenden namentlich in den Wüstengebieten der Sahara auffallend hervortritt. Bei Tage von brennender Hitze durchglüht, erleiden diese Gesteine, sobald die Sonne vom Horizont verschwunden ist, eine empfindliche Abkühlung, die gegen Morgen ihren Höhepunkt erreicht, um dann wieder, sobald die Sonne über dem Horizont auftaucht, intensiver Hitze zu weichen. Jede solche Abkühlung bringt naturgemäß eine Zusammenziehung, jede Erwärmung eine Ausdehnung mit sich, und diese häufig sich wiederholende Änderung lockert den Zusammenhang, so daß selbst große Gesteinsblöcke allmählich in Scherben zerfallen.

In anderen Gegenden ist auch die *Vegetation* an der Zerstörung der Gesteine beteiligt. Die Wurzeln der Pflanzen senken sich in die feinen Risse des Gesteins, und mit dem allmählichen Wachstum und dem Erstarken der zarten Fasern werden diese Klüfte mehr und mehr erweitert. Die Wurzeln kleinerer Pflanzen, Algen und Flechten, greifen an zahllosen Punkten im kleinen an, während die großen Pfahlwurzeln mächtiger Bäume riesige Felstrümmer aus ihrer ursprünglichen Lage zu bringen im stande sind. Wenn man eine Schlucht aufmerksam betrachtet, die mit sehr steilen, fast senkrechten Wänden in ein waldiges Terrain einschneidet, so wird man in der Regel ein oder das andere Beispiel für diesen Vorgang finden; keilförmige Gesteinsschollen sind

von den Wänden abgelöst und befinden sich in einer Lage, daß man deren Abstürzen im Laufe der Zeit mit Sicherheit voraussetzen kann, und über der Kluft, die sie von der Hauptmasse des Berges trennt, erheben sich die Bäume, deren Wurzeln die Spalte unmerklich, aber ununterbrochen erweitern, bis eines Tages der Sturz der Masse eintritt.

Anderseits wird auch die chemische Zersetzung der Gesteine durch die Vegetation mächtig gefördert. Bei ungehindertem Luftzutritt zersetzen sich verwesende Pflanzenstoffe in der Weise, daß sich Kohlensäure und Wasser bilden. Wo sich aber verwesende Pflanzenstoffe in solcher Menge anhäufen, daß rasche Zerstörung nicht erfolgen kann, da findet eine viel verwickeltere Umbildung statt, bei der außer Kohlensäure und Wasser noch verschiedene organische Stoffe, Humin, Gein, Säuren, wie Humussäure, Geinsäure, ferner Glieder der Fettsäurereihe, wie Ameisensäure ꝛc., gebildet werden. Diese wirken als energische Lösungsmittel auf die unter der Moderschicht liegenden Gesteine, sie fördern deren Zersetzung und Verwitterung, und gleichzeitig bildet sich die oberflächliche Schicht der Dammerde oder Ackerkrume, des Humus, der aus einem Gemenge von pflanzlichem Moder mit den Verwitterungsprodukten des Gesteins besteht. An manchen Stellen erreicht diese Oberflächenschicht eine namhafte Dicke, wie in dem bekannten Dunkelboden bei Regensburg, in dem Tschernosem Südrußlands und Podoliens, im schwarzen Prärieboden Nordamerikas; in der Regel aber bildet sie eine nicht sehr bedeutende Lage von gleichmäßiger Beschaffenheit.

Auffallend ist die Thatsache, daß im Humus, soweit er nicht durch Umarbeitung durch den Menschen gestört ist, die gröberen Partikeln, die Steine, fehlen oder sehr spärlich sind. Eine Erklärung für diese Erscheinung gibt Darwin. Nach ihm erhält die Ackererde ihre charakteristischen Eigentümlichkeiten wesentlich durch die Thätigkeit der Regenwürmer. Er wurde zu dieser Ansicht durch die Beobachtung geführt, daß feste Körper, z. B. Steine, die auf einer Wiese liegen, im Laufe der Jahre in den Boden versinken oder, wenn sie zu groß dazu sind, darin einsinken. Dieses Versinken ist das Werk der Regenwürmer; sie höhlen ihre Löcher im Boden in der Weise aus, daß sie die Erde verschlucken, sie durch den Verdauungskanal durchgehen lassen und dann in Form krümeliger, erdiger Kotballen an die Oberfläche fördern. Wer je die Erde einer Rasenfläche oder eines Gartenbeetes aufmerksam betrachtet hat, erinnert sich der gerundeten, feinerdigen Klümpchen, die überall in großer Menge liegen, bis der nächste Regen sie zerwäscht und ihr Material gleichmäßig über den Boden verteilt. Aber nicht nur, um ihre Gänge zu bohren, schlucken die Regenwürmer Erde, sondern sie bedienen sich ihrer geradezu als Nahrungsmittel, indem sie ihre organischen Bestandteile verdauen. In dieser Weise schaffen die Regenwürmer ununterbrochen Humusteile an die Oberfläche und erhöhen sie; aber anderseits sinkt sie auch wieder in dem Maße nach, als das Material aus dem Untergrund von den Regenwürmern weggenommen wird. Freilich scheint damit noch keine ganz ausreichende Erklärung gegeben, da sich auch in Gegenden, wo keine Regenwürmer vorkommen, Humus bildet.

In neuerer Zeit hat man die Wahrnehmung gemacht, daß auch gewisse Bakterien, die Nitromonaden, in hohem Grade beim Zerfall der Gesteine mitthätig sind. Wenn sich die bisherigen Angaben bestätigen, so wird man den kleinsten Lebewesen, deren mächtige Rolle im Getriebe der Naturkräfte immer mehr hervortritt, ganz unerwarteterweise auch eine große geologische Wichtigkeit zuschreiben müssen. Die genannten Bakterien haben ihren Namen von ihrer Fähigkeit erhalten, Salpetersäure auszuscheiden; sie vermögen den zum Leben notwendigen Stickstoff und Kohlenstoff unmittelbar aus der Atmosphäre aufzunehmen und finden daher auch auf kahlem Felsboden die Bedingungen ihres Gedeihens. Infolge ihrer winzigen Größe sind sie im stande, in die feinsten Poren einzudringen und sich tief in das Gestein hinein zu verbreiten und üben, sei es auf rein mechanischem Wege, sei es durch Absonderung eines Sekrets, eine ähnliche Wirkung auf die Gesteine

aus wie die Algen und Flechten. Ihre Verbreitung ist eine allgemeine, selbst die höchsten und stolzesten Alpengipfel entgehen nicht der zerstörenden Thätigkeit dieser Organismen. So hat man z. B. erkannt, daß das Faulhorn im Berner Oberland durch und durch von Nitromonaden durchfressen ist, und man ist deshalb sehr geneigt, anzunehmen, daß der allmähliche Zerfall der Felsmassen zum nicht geringen Teil durch die Wirksamkeit dieser Bakterien unterstützt wird.

Wo die Verwitterung ungestört wirken kann, wo die Materialien nicht vom rinnenden Wasser weggeschwemmt werden, ehe der Prozeß zu Ende geführt ist, da werden alle löslichen Teile ausgelaugt; Thone, Sande sind in der Regel die Hauptprodukte, die zurückbleiben. Wo das Land wenig geneigt oder die Verhältnisse sonst einer Abschwemmung ungünstig sind, da häufen sich diese Verwitterungsrückstände im Laufe der Zeit zu einer bald mehr, bald weniger mächtigen Decke über den Gesteinen auf, aus deren Zerstörung sie entstanden sind. Solche oberflächliche Massen, die nicht durch Wasser herbeigeführt, sondern an Ort und Stelle entstanden sind, kann man ganz passend mit einem von Trautschold vorgeschlagenen Namen als Eluvium bezeichnen. Es ist natürlich, daß sie je nach der Beschaffenheit des Untergrundes, über dem sie sich entwickelt haben, verschiedenartig gebildet sind; aber doch ist dies weit weniger der Fall, als man glauben sollte, da viele sehr stark voneinander abweichende Gesteine sehr ähnliche Verwitterungsprodukte enthalten. Es mögen hier nur drei solche Gebilde besprochen werden, die größere Bedeutung besitzen, nämlich der Gehängelehm, die Terra rossa und der Laterit.

Im gemäßigt-feuchten Klima Mitteleuropas entsteht durch die Verwitterung verschiedener Gesteine, besonders der kristallinischen Schiefer, der Eruptivmassen und der thonig-sandigen Gesteine, ein zäher gelbbrauner Lehm, der als wenig mächtige Lage alle Gehänge überzieht und nur in den Niederungen, wohl infolge der Zusammenschwemmung durch den Regen, eine etwas größere Mächtigkeit besitzt. Nicht selten sind in den tieferen Partien dieses Gehängelehms noch unzersetzte Stücke des Grundgebirges enthalten, und es zeigen sich gewisse Schwankungen in der Zusammensetzung je nach Art des Ursprungsgesteins. Die Verbreitungsgrenzen des Gehängelehms sind noch nicht genau festgestellt; bestimmt fehlt er in den Tropen und wohl auch im Mittelmeergebiet, wo die rote Erde, Terra rossa, vorherrscht.

Der Name Terra rossa stammt aus den karstigen Küstenländern des Adriatischen Meeres. Hier findet sich in sehr großer Verbreitung eine rote Erde, die namentlich in den eigentümlichen Karsttrichtern, den Dolinen, oft in Masse vorhanden ist. Sie besteht aus einem sehr stark eisenhaltigen Thon, dessen stete Verbindung mit den Karstkalken sie als das letzte Verwitterungsprodukt dieser erscheinen läßt, das als Rückstand nach der Wegführung allen kohlensauren Kalkes durch die atmosphärischen Wasser zurückbleibt. Es scheint wohl seltsam, daß diese oft schneeweißen, reinen Gesteine reinen roten Thon einschließen sollten; man kann sich jedoch durch Versuche überzeugen, daß bei der Auflösung größerer Stücke von ganz weißem Karstkalk in Essigsäure wirklich eine kleine Menge roten Thones zurückbleibt, der gegen 20 Prozent Eisenoxyd enthält.

Das Vorkommen solcher Terra rossa ist keine Eigentümlichkeit der Küstenländer der Adria; in großer Entwickelung findet man sie in Griechenland, überhaupt in der Umgebung des Ägeischen Meeres, und in den Klüften und Trichtern, den sogen. Wetterlöchern, des schwäbisch-fränkischen Juraplateaus. Sie tritt fast überall da auf, wo reine Kalkschichten marinen Ursprungs eine Lagerung und Oberflächenbeschaffenheit zeigen, die der starken Abschwemmung der Verwitterungsprodukte wenig günstig ist, oder wo eine solche Abschwemmung durch geringe Regenmenge und Trockenheit des Klimas verhindert wird, wie auf den gehobenen Korallenkalken der Bahama-Inseln; ja selbst, wo dies nicht der Fall ist, z. B. in den Kalkalpen, findet man oft, daß an schwach mit Humus und Pflanzenwuchs bedeckten Gehängen die wenige Erde eine auffallend

rötliche Färbung hat. Ebenſo iſt der rote Lehm, der in der Regel den Boden der Höhlen und Grotten des Kalkgebirges bedeckt, nichts anderes als zuſammengeſchwemmte Terra roſſa.

Ein anderes ſehr wichtiges Eluvialgebilde, das eine unverkennbare Ähnlichkeit mit der Terra roſſa hat und überaus große Flächen der Erdfeſte bedeckt, iſt der Laterit[1], den F. von Richthofen folgendermaßen ſchildert: „Der Laterit, das verbreitetſte Oberflächengebilde in den feuchten Tropenregionen von Südoſtaſien, Afrika und Braſilien, iſt ein ſehr eiſenreiches thoniges oder thonig-ſandiges Verwitterungsprodukt verſchiedenartiger Geſteine; er beſteht aus einem ſchwammig-zelligen, rot oder braun gefärbten, ſehr eiſenhaltigen Gewebe, deſſen Höhlungen mit einer helleren, oft weißlichen Subſtanz ausgefüllt ſind, ſo daß friſche Ausbrüche des feſten, aber doch leicht ſchneidbaren Lateritbodens ein gefleckes Anſehen zeigen. An der Luft aber verfeſtigt ſich das ſchwammige Gewebe, nimmt dunkelbraune Färbung an und erhält ein braunes, ſchlackenartiges Ausſehen, indem zunächſt der Oberfläche der ſchwammige Inhalt der Zellen ausgewaſchen wird. Wo immer hohe Temperatur, ſtarker Regenfall und Waldvegetation ſich vereinigen, ſchreitet die Bildung des weichen Laterits durch Zerſetzung des unterlagernden Geſteines nach der Tiefe fort. Zugleich wächſt ſeine Oberfläche nach oben, indem alle durch fließendes Waſſer oder atmoſphäriſche Strömungen herbeigeführten feſten Beſtandteile ſich ebenfalls in Laterit verwandeln.“ Die verſchiedenſten Felsarten, Gneis, Glimmerſchiefer und andere kriſtalliniſche Schiefer, Flözgeſteine, Eruptivmaſſen, wie Baſalt und andere, liefern das Material zur Bildung des Laterits; doch iſt man bis jetzt über die näheren Verhältniſſe ſeiner Entſtehung, über die einzelnen chemiſchen und mechaniſchen Vorgänge dabei noch ſehr im unklaren.

Gehängelehm, Terra roſſa und Laterit finden ſich nicht ſelten auf zweiter Lagerſtätte. In vielen Fällen mag der erſtere das Material für verſchiedene Süßwaſſerlehme der Diluvialperiode geliefert haben, und gewiß iſt er auch zur Löß bildung, die wir weiter unten beſprechen werden, verwendet worden. Ebenſo wird der Laterit durch das Waſſer von den Höhen zu Thal geführt, um dort als Thal- oder Tiefenlaterit vermengt mit Sandkörnern abgelagert zu werden. Braſiliens Ströme ergießen lateritiſches Material in ſo großer Menge in den Atlantiſchen Ozean, daß der Meeresſchlamm auf weite Strecken hin und bis in große Tiefen rote Färbung annimmt. Erkenntniſſe dieſer Art haben veranlaßt, daß man auch den roten Ablagerungen früherer Erdperioden Aufmerkſamkeit geſchenkt hat. Es iſt vielleicht kein Zufall, daß ſich die größten Anhäufungen rotgefärbter Sedimente in den ſo oft transgredierend auftretenden Schichten des „Rotliegenden“ (Permformation) vorfinden, dieſen aber der Zeit nach die Steinkohlenformation voranging, in der weithin kontinentale Verhältniſſe geherrſcht haben, alſo nach Analogie mit der Gegenwart auch eine Zerſetzung des Feſtlandes und Entſtehung einer roten Verwitterungskruſte ſtattgefunden haben muß. Was ſich in dieſer Periode an roten Verwitterungsprodukten gebildet hat, wurde bei der Transgreſſion der Permformation in deren neu abgelagerte Geſteine aufgenommen. In derſelben Weiſe erklärt man auch die rote Farbe der triaſſiſchen Sandſteine an der atlantiſchen Küſte von Neuſchottland bis Südcarolina, und gewiſſe rote, verſteinerungsreiche, thonige Kalke des Lias, die ſogenannten Hierlatzkalke, die in den Oſtalpen in unregelmäßigen, taſchenförmigen Vertiefungen des darunter liegenden mächtigen hellen Kalkſteins, des Dachſteinkalkes, eingebettet ſind, werden ähnlich gedeutet. Eine leichte negative Verſchiebung der Strandlinie legte die in der Littoralzone gebildeten hellen Kalke trocken; es bildete ſich Terra roſſa, gerade ſo wie in der Gegenwart auf den gehobenen Korallenkalken der Bahamas. Dann trat wiederum eine leichte Bewegung im entgegengeſetzten Sinne ein, die Kalke kamen unter den Meeresſpiegel, eine reiche Küſtenfauna ſiedelte ſich in allen Vertiefungen und Klüften des Kalkſteines an, und durch

[1] Nach dem lateiniſchen later, der Ziegelſtein.

Mischung der Terra rossa mit Schalenresten entstanden die Hierlatzkalke, deren taschenförmige Lagerung nun so eigentümliche Verhältnisse aufweist.

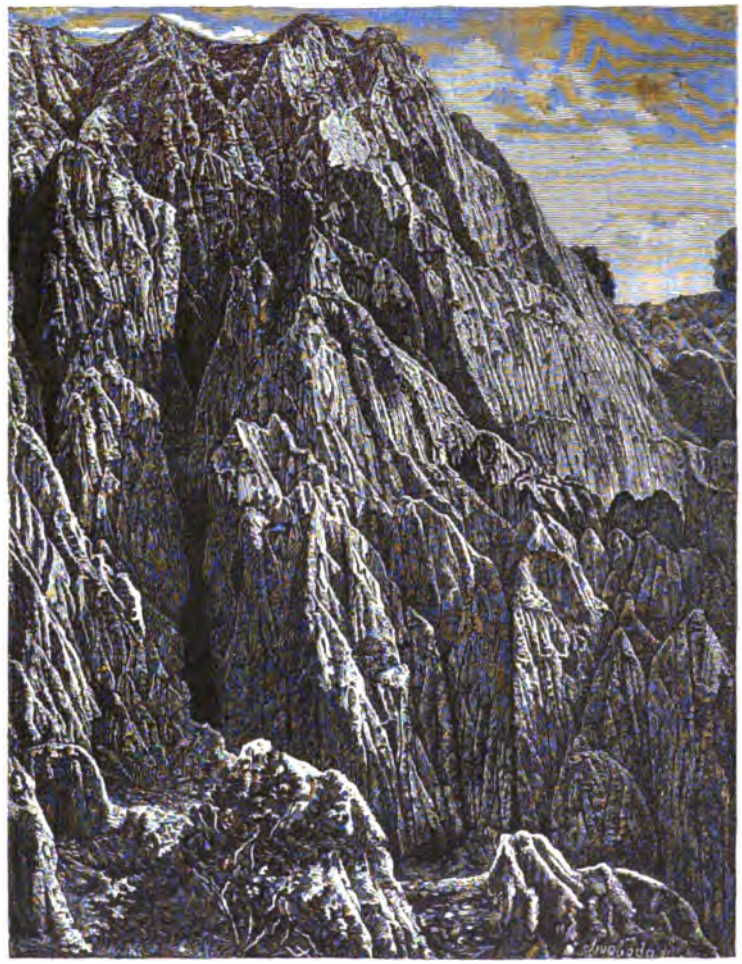
Ganz gleichmäßig schreitet die Verwitterung von der Oberfläche aus gegen das Innere des Gesteins vor, alle Teile desselben auf diesem Wege gleichmäßig zerstörend, wenn das Gefüge und die Beschaffenheit eine gleichartige ist. Häufig aber ist diese Bedingung nicht erfüllt; oft sind aus einer nicht näher bestimmbaren Ursache in einer Felsart einzelne Partien fester und widerstandskräftiger als andere, so daß dann die Abtragung eine ungleichmäßige wird. Ein gutes Beispiel bietet der unter dem Namen Rappakiwi bekannte Granit in Finnland. Einzelne gewaltige Blöcke trotzen jahrhundertelang allen Einwirkungen, während andere aus ihrer nächsten Umgebung in wenigen Dezennien, nachdem sie dem Froste und Regen ausgesetzt worden sind, zu Grus zerfallen. Es ist das ein Gegenstand von größter Bedeutung für die Stadt Petersburg, für die der Rappakiwi große Mengen des herrlichsten Quadermaterials geliefert hat. Im allgemeinen war man dort, wie es scheint, glücklich bei der Auswahl, aber bisweilen wurden auch Stücke von sogenanntem faulen Rappakiwi gebrochen; dies war besonders bei dem riesigen Monolithen der Alexandersäule der Fall, der in den wenigen Jahrzehnten seit seiner Aufrichtung trotz aller Bemühungen zu seinem Schutze schon schwer gelitten hat.

Eigentümliche Verwitterungsformen treten namentlich da auf, wo ein Gestein durch ein System von mehr oder weniger rechtwinkelig aufeinander verlaufenden Klüften und Fugen eine Neigung zu quaderförmiger Absonderung hat. In erster Linie finden wir solche Erscheinungen bei manchen geologisch alten Massengesteinen, bei Granit, Syenit, Porphyr, aber auch bei Gneisen und manchen Sandsteinen. Die sickernden Wasser folgen diesen Fugen, sie bringen längs diesen Verwitterung hervor, und das Gestein löst sich allmählich in ein Haufwerk von Blöcken auf; diese werden durch weitergehende Einwirkung der Atmosphärilien an den Kanten abgerundet und nehmen in vielen Fällen die bekannten „wollsackähnlichen" Formen an, die man in den sogenannten Felsenmeeren beobachtet. In verschiedenen Gebirgen werden diese wirren Anhäufungen abgerundeter Massen als Merkwürdigkeiten besucht; wir erinnern hier nur an das aus Granit gebildete Felsenmeer bei Auernheim im Odenwald oder an das allerdings ziemlich bescheidene Felsenmeer von Buntsandstein am südlichen Thalgehänge des Neckar bei Heidelberg. In anderen Fällen sind die nur wenig zugerundeten riesigen Quadern in phantastischer Weise übereinander getürmt, wie das die seltsamen Felsgestaltungen der Sächsischen und Böhmischen Schweiz und mancher Granitgebiete zeigen. Besondere Erwähnung verdient noch die Entwickelung sogenannter Blockgipfel; man versteht darunter die Erscheinung, daß die obersten Partien eines Berges kein anstehendes Gestein besitzen, sondern nur aus einem Haufwerk gigantischer Felsblöcke bestehen; manche der Höhen im Harz, vor allen der Brocken, viele Berge im Fichtelgebirge, im Bayrischen Walde und in den Sudeten zeigen diesen Bau, der sich auch in den Schieferbergen der Zentralalpen oft wiederholt.

Erosion.

Die Verwitterung zerkleinert und zertrümmert das Gesteinsmaterial und ebnet dadurch die Wege für eine andere wichtige Thätigkeit des Wassers, für die mechanische Zerstörung und den Transport des Materials im großen: die Erosion. Das Wasser fällt in Regentropfen zur Erde nieder, diese fließen, soweit sie nicht verdunsten oder in die Tiefe sickern, an der Erdoberfläche ab, sie sammeln sich zu kleinen Wasserfäden, diese zu Bächen; die Vereinigung der letzteren bildet Flüsse und Ströme, die sich endlich in Seen oder ins Meer ergießen. Das Wasser folgt

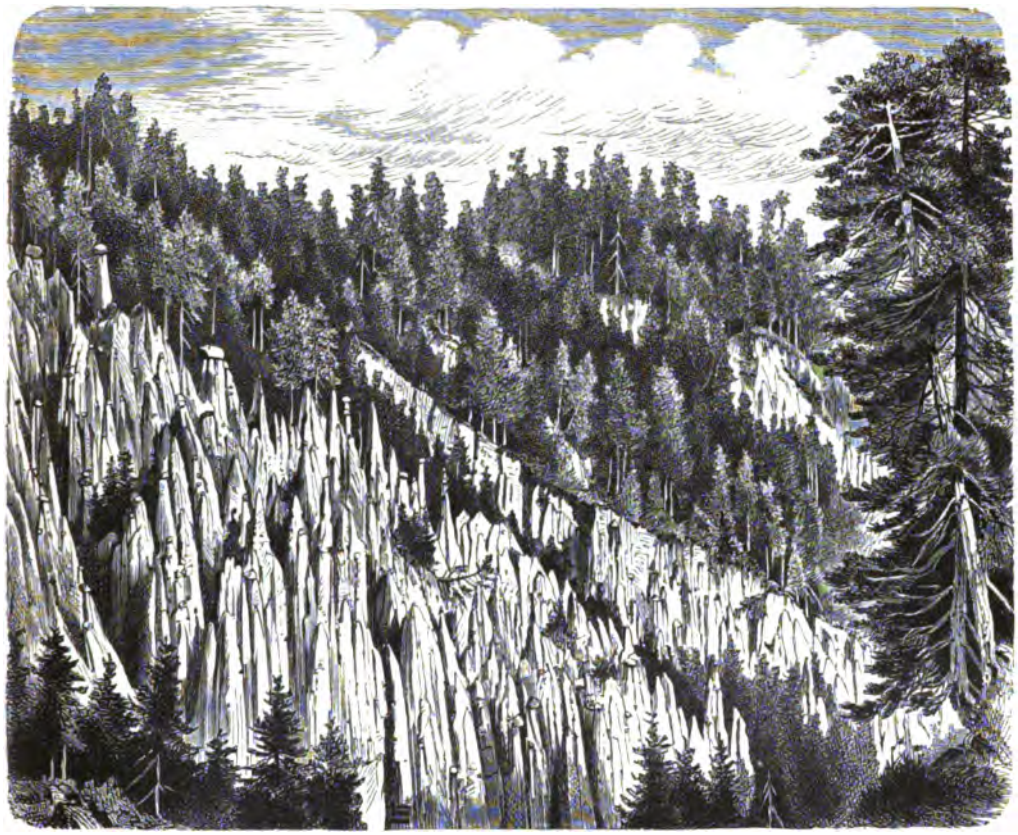
dabei einfach dem Zuge der Schwere, es fließt nach abwärts. Dabei übt es auf loſe, wenig widerſtandskräftige Maſſen eine nicht unanſehnliche Wirkung (ſ. untenſtehende Abbildung): loſer Sand, Lehm, plaſtiſche Thone werden unmittelbar ausgefurcht und weggeführt; auf harte, feſte Felsgeſteine aber wirkt das fließende Waſſer an und für ſich nur ſehr wenig zerſtörend ein. Hier jedoch arbeitet die Verwitterung vor, ſie verwandelt die Oberfläche in Schutt und Grus; dieſe Teile werden weggeſchwemmt und verleihen ihrerſeits dem rinnenden Waſſer ſelbſt in hohem Grade die Fähigkeit, auch die feſteſten Geſteine mechaniſch zu zerſtören und zu erodieren. Jedes Sandkorn, jedes Geröll, das von einem Fluß oder Bach über das anſtehende Geſtein fortgetrieben wird, reibt und wetzt an deſſen Oberfläche, und ſo ſägt das Waſſer mit Hilfe dieſer Partikeln, die es mitführt, unabläſſig in die Tiefe, ſolange die Kraft der Strömung genügend iſt, das geſamte feſte Material fortzuwälzen. Wo aber infolge von Abnahme des Gefälles der Fluß dies nicht mehr vermag, da hört er auf, ſeine Unterlage zu erodieren, er ſetzt nun im Gegenteil die bisher mitgeführten Teile, Geröll, Sand, Schlamm, ab, er wirkt ablagernd.



Regenrinnen an einem Berggehänge des Salt Creek Canon in Utah, Nordamerika. (Nach Clarence King.)

Natürlich greift das Waſſer mit ſeinen mechaniſchen Wirkungen leicht zerſtörbare Geſteine in viel energiſcherer Weiſe an als widerſtandskräftige, und indem die erſteren abgeſchwemmt und fortgeführt werden, die letzteren dagegen verhältnismäßig länger erhalten bleiben, kommen unter Umſtänden eigentümliche Erſcheinungen zu ſtande. Oft auch arbeiten dabei chemiſche und mechaniſche Kräfte ſo innig verbunden, daß es nicht immer möglich iſt, genau zu unterſcheiden, welcher Anteil dem einen, welcher dem anderen Faktor zugeſchrieben werden ſolle. Eine rein mechaniſche Wirkung des Waſſers, die trotz der äußerſten Einfachheit des Vorganges doch die ſeltſamſten Terrainformen mit ſich bringt, iſt die Bildung der ſogenannten Erdpyramiden oder Erdpfeiler, die zwar

an verſchiedenen Punkten auftreten, zuerſt aber und wohl auch am ſchönſten auf dem Ritten bei Bozen beobachtet worden ſind. In den Thälern des Katzenbachs und des Finſterbachs ſieht man Hunderte von ſchlanken, meiſt nach allen Seiten frei ſtehenden Pfeilern, die aus einem ziemlich feſten rötlichen Thone beſtehen und auf ihren Spitzen meiſt je einen großen Steinblock tragen. Die Höhe dieſer ſeltſamen Gebilde ſteigt bis zu 30 m an, an der Baſis haben ſie meiſt eine ſteil pyramidale, oben ſchlank kegelförmige Geſtalt (ſ. untenſtehende Abbildung). Die Entſtehung dieſer vielbewunderten „Mandeln“ iſt ſehr einfach; ein Blick auf die Gehänge des



Erdpfeiler auf dem Ritten bei Bozen. (Nach Photographie.)

Thales zeigt, daß ſie aus genau demſelben rötlichen Thon beſtehen wie die „Mandeln“, und daß dieſem in bedeutender Menge ganz unregelmäßig Steine und große Blöcke beigemengt ſind. Die ganze Anordnung und Lagerung ſowie der Umſtand, daß die Steine großenteils poliert und geritzt ſind, läßt die ganze Bildung als eine aus der Eiszeit ſtammende Gletſchermoräne erkennen. In dieſes Material haben die Bäche urſprünglich ganz ſchmale, tiefe Kanäle eingegraben, deren Erweiterung und ſanftere Böſchung der Wirkung des von den Wänden ablaufenden Regenwaſſers zuzuſchreiben iſt, das den Thon allmählich wegſchwemmte. Dabei bildeten nun auf der Oberfläche liegende oder im Laufe der Denudation allmählich aus der umhüllenden Maſſe hervortretende größere Blöcke ein ſchützendes Dach für die ihnen unmittelbar zur Unterlage dienenden Teile des Thones; dieſe bleiben als Pfeiler ſtehen, während die ganze Umgebung ausgewaſchen wird, und ſo ruhen dieſe großen Porphyr- und Granittrümmer durch die Jahrtauſende andauernde Einwirkung des Regenwaſſers endlich auf mitunter turmhohen Säulen,

deren Seiten durch die kleineren der Maſſe eingelagerten Steine häufig eine eigentümliche Kannelierung erhalten.

Da der Blocklehm in den Alpen ſehr verbreitet iſt, ſo kehren auch Erdpfeiler an vielen Punkten wieder, und namentlich die im ſchweizeriſchen Kanton Wallis werden ihrer Schönheit wegen gerühmt. Auch anderwärts treten unter ähnlichen Verhältniſſen ähnliche Bildungen auf; ſie ſind nicht auf glazialen Blocklehm beſchränkt, ſondern es bedarf nur irgend eines unter günſtigen Terrain- und Niederſchlagsverhältniſſen vorkommenden, verhältnismäßig leicht zerſtörbaren, hinreichend mächtigen Materials, dem unregelmäßig grobe Blöcke eingeſtreut ſind, eine Bedingung,

Erdpfeiler im Monumentenpark, Nordamerika. (Nach Photographie.)

wie ſie z. B. auch bei zarten vulkaniſchen Tuffen mit beigemiſchten großen Auswürflingen geboten erſcheint. Die Erzeugung ſolcher phantaſtiſchen Formen iſt aber nicht nur auf dieſe Fälle beſchränkt, ſondern ſie iſt ſehr allgemein verbreitet, wo einzelne Partien eines Geſteins durch größere Widerſtandsfähigkeit ihrer Umgebung gegenüber ausgezeichnet ſind (ſ. obige Abbildung). Säulen, Nadeln, Obelisken, pilzförmige Gebilde, kurz eine Menge der bizarrſten Formen wittern auf dieſe Weiſe aus ihrer Umgebung hervor (ſ. Abbildung, S. 459). Oft haben ſie ganz rieſige Dimenſionen, wie z. B. die „Kathedralenklippe“ in Colorado im weſtlichen Nordamerika, während ſie in anderen Fällen nur eine ſehr beſcheidene Größe erreichen. Im allgemeinen ſind jedoch ſolche Erſcheinungen in trockenen und regenarmen Gegenden häufiger als in feuchten, und ganz beſonders iſt die gewaltige Einſenkung, die in Nordamerika zwiſchen der Sierra Nevada und den Rocky Mountains liegt, durch die Menge ſolcher Felsgebilde ausgezeichnet; ein Strich hat infolge der gewaltigen Zahl derſelben den Namen „Monumentenpark“ erhalten (ſ. auch Abbildung, S. 460 oben, und die beigeheftete Tafel „Natürliche Säule in Wyoming, Nordamerika“),

NATÜRLICHE SÄULE IN WYOMING (Nordamerika)

(Nach U. S. Geological Survey.)

deren Seiten durch die kleineren der Masse eingelagerten [illegible] lierung erhalten.

Da der Blocklehm in den Alpen sehr verbreitet [illegible] Punkten wieder, und namentlich die im schweizerischen [illegible] wegen gerühmt. Auch anderwärts treten unter [illegible] sie sind nicht auf [illegible] Blocklehm beschränkt, [illegible] Terrain- und [illegible] vorkommenden, [illegible] reichend [illegible] Materials, dem unregelmäßig grobe [illegible]

[illegible]

wie sie z. B. auch bei zarten vulkanischen [illegible] boten erscheint. Die Erzeugung solcher phantastischen Formen [illegible] beschränkt, sondern sie ist sehr allgemein verbreitet, wo einzelne [illegible] größere Widerstandsfähigkeit ihrer Umgebung gegenüber [illegible] Säulen, Nadeln, Obelisken, pilzförmige Gebilde, kurz eine Menge [illegible] auf diese Weise aus ihrer Umgebung hervor (s. Abbildung, [illegible] Dimensionen, wie z. B. die „Kathedralenklippe" in [illegible] in anderen Fällen nur eine sehr bescheidene Größe [illegible] in trockenen und regenarmen Gegen[illegible] [illegible] Einsenkung, die in Nordamerika [illegible] durch die Menge solcher Felsgebilde [illegible] derselben den Namen „Monumente[illegible] [illegible] Tafel „Natürliche [illegible]

NATÜRLICHE SÄULE IN WYOMING (Nordamerika)

ein anderes derartiges Gebiet am Ostfuß des Felsengebirges wurde als Göttergarten bezeichnet (s. untenstehende Abbildung). Die härteren Partien von grellrotem Triassandstein starren dort in so seltsamen Formen aus dem Boden, daß es begreiflich ist, wenn die Indianer diese Verwitterungsbildungen einstmals für die steinernen Verkörperungen ihrer Götter gehalten und zu ihnen gebetet haben. Ein weiteres Beispiel eigentümlicher Erosionsformen zeigt die Abbildung auf S. 460 unten, die eine Gruppe aus Kreidegesteinen bestehender natürlicher Pfeiler von riesiger Größe darstellt, wie sie sich bei Saërmi im Kaukasus finden.

Das verschiedene Verhalten der Gesteine gegen die Erosion offenbart sich auch in Gegenden, wo keine auffallenden Erosionsformen zur Ausbildung gelangen. Wo harte, wetterbeständige

Erodierte Sandsteinpyramiden im „Garden of the Gods", Nordamerika. (Nach Photographie.)

Gesteine in einer weniger widerstandsfähigen Umgebung auftreten, werden sie durch die nagende Thätigkeit des Wassers stets als Schwellen oder Anhöhen, ja selbst als Felszüge ausgeprägt, während die rascher zerstörbaren, weicheren Gesteine die Entstehung von Vertiefungen veranlassen. Fast immer steht die äußere Form des Geländes zu der wechselnden Widerstandsfähigkeit der Gesteine in einem leicht kenntlichen Abhängigkeitsverhältnis, und der Geolog, dem die Aufgabe zufällt, eine geologische Karte herzustellen, d. h. die Verbreitung der einzelnen Schichtgruppen und Formationen zu verzeichnen, wird diesem Verhalten wichtige Fingerzeige verdanken. Die Verbreitung der widerstandsfähigen Bildungen kommt in den Terrainformen zum Ausdruck, und für den Kundigen genügt oft ein Blick von einer Anhöhe, um danach die Verteilung der Formationen auf weite Strecken hin zu erkennen.

So auffallend und seltsam die Verwitterungsformen bisweilen auch erscheinen mögen, so werden sie doch immer durch sehr einfache Vorgänge bedingt: die wirksame Ursache ist das dem Zuge der Schwere folgende Wasser, das auf seinem Wege feste Bestandteile mitreißt oder durch Unterwaschung zum Sturz in die Tiefe bringt. Die Stärke dieser Wirkung ist, abgesehen von

der Menge des Waſſers, von deſſen Gefälle und von der Beſchaffenheit des Materials abhängig, an deſſen Abtragung es wirkt. An den ſchroffen Gehängen des Hochgebirges nagt natürlich das

Erodierte Felspartie in Wyoming, Nordamerika. Vgl. Text, S. 458.

flüſſige Element mit ſehr viel größerem Erfolg als in flachem Terrain, in loſen Schuttanhäufungen viel energiſcher als in feſtem Fels. In den Hochregionen iſt die Zerſtörung eine überaus

Erodierte Kreidefelſen bei Saëmi im Kaukaſus. (Nach H. Abich.) Vgl. Text, S. 459.

große, und im innigſten Zuſammenhang beteiligen ſich die verſchiedenſten Faktoren daran. Wenn man in den Alpen in ſchroffem, vegetationsarmem Gebiet herumſtreift, hört man durch die Stille das klappernde, ſich jeden Augenblick erneuernde Geräuſch abſtürzender Felstrümmer. Die

fortschreitende Zerklüftung des Gesteines, in Verbindung mit der lockernden Thätigkeit des Regenwassers, versetzt allmählich ansehnliche Massen in einen Zustand, daß der geringste Anstoß sie zu Falle bringt. Von der Bahn, die ein flüchtiges Rudel Gemsen in wilden Sätzen durcheilt, gehen ganze Trümmerströme ab; an manchen übeln Felsgehängen findet man kaum einen Zacken, der der Hand Halt genug bietet, die Last des Körpers nachzuziehen, und unter dem wuchtigen Tritte des mit zackigem Steigeisen gewappneten Fußes brechen ganze Ladungen in die Tiefe; es ist an solchen Stellen, als ob der ganze Berg lebendig würde. Natürlich stürzen auch ohne äußeren Anstoß, nur infolge der Zerklüftung und Unterwaschung, große Mengen von Steinen und poltern bergab, wobei sie namentlich gewissen Einrissen, Steinschlagrinnen, folgen, von denen manche deshalb bei Bergwanderungen überhaupt nicht als Anstiegslinien benutzt werden können oder doch jeden, der sich in ihren Bereich wagt, mit dem Tode bedrohen.

Fallen auch die Blöcke ohne äußeren Anstoß in der Regel nur einzeln, so sind doch die Massen, die auf diesem Wege im Laufe der Zeit in die Tiefe gefördert werden, ganz ungeheuere. Wo ein habituelles Sturzgebiet von Blöcken, eine Steinschlagrinne, eine Runse in ein größeres, flacheres Thal mündet, da häuft sich das heruntergebrachte Material in Kegelform an; die Spitze des Kegels lehnt sich an das untere Ende der Rinne, die Basis breitet sich über den Thalboden aus. Fließt ein Bach mit aus, so wird dieser Kegel sehr flach; ist es aber nur Schutt, der nur seiner Schwere folgend oder nur von sehr wenig Wasser begleitet hier ankommt, so wird der Kegel sehr steil und baut sich unter dem stärksten überhaupt möglichen Böschungswinkel auf. Wenn mehrere solcher Kegel an einem Gehänge nahe aneinander liegen, so verschmelzen ihre unteren Teile miteinander und bilden eine Schutthalde. Lehrreich ist es, von einem dominierenden Höhenpunkt aus in die Thalgründe hinabzusehen und die schön regelmäßigen Böschungsformen dieser Trümmerströme zu beobachten. Blickt man z. B. von dem Gipfel des Sonnjoches am Achensee in den Hintergrund des Falzthurnthales, so sieht man, wie dort der ganze Thalboden lediglich durch die von allen umliegenden Bergen herabziehenden Steinströme zugeschüttet ist.

Bergstürze und Erdrutschungen.

Nicht immer beschränkt sich die Bewegung des Gesteinsmaterials auf einzelne Blöcke; bisweilen nehmen die Erscheinungen großartige Dimensionen an, und es ereignen sich verheerende Katastrophen, die die Bewohner der Gebirgsthäler schwer heimsuchen. Die furchtbarsten Wirkungen üben die Bergstürze, bei denen sich riesige Felsmassen auf einmal loslösen und herabstürzen. Wenn man von Bergstürzen spricht, so darf man in den meisten Fällen nicht glauben, daß das Wort in seinem vollsten Sinne angewendet werde, daß wirklich ein ganzer Berg eingestürzt sei. Es sind an sich, nach menschlichem Maßstab, enorme Felsbrüche, aber im Verhältnis zur ganzen Masse des Berges sind sie doch nur sehr geringfügig; es werden nur kleine Ausschartungen der Gehänge erzeugt, und sobald sich die Bruchfläche mit Vegetation bekleidet hat, ist der Verlust selbst für den genauen Kenner der Gegend fast ohne merklichen Einfluß auf die Physiognomie des Berges. Der Bergsturz, der im Jahre 1881 Elm im Kanton Glarus so fürchterlich heimsuchte, hat 10 Millionen Kubikmeter Gestein ins Thal geworfen; aber der Tschingelberg, von dem es losbrach, ist kaum merklich geändert. „Die Wunde am Tschingelberg ist mehr durch ihre kahlgraue Farbe als durch die Form sichtbar; wieder bewaldet, würde selbst ein Kenner der Gegend aus einiger Entfernung den Abbruch nicht leicht beachten.“ (Heim.)

Daß in sehr seltenen Fällen auch ein ganzer Berg zusammenbrechen kann, beweist ein merkwürdiger Fall in der Brentagruppe im südwestlichen Tirol, der sich im Mai 1882 ereignet hat.

Über dieſe Kataſtrophe, von der faſt zwei Jahre hindurch keine Nachricht in die Außenwelt gedrungen iſt, berichtet E. Richter folgendermaßen: „Das herrliche Gebiet der Brentagruppe beſteht vielfach aus prismatiſchen Felskörpern, die ſowohl iſoliert als auch orgelpfeifenartig aneinander gereiht vorkommen, ſo daß ſie im allgemeinen an die bekannten Formen der drei Zinnen bei Schluderbach in Tirol (ſ. die Tafel bei S. 12) erinnern. Ein ſolcher Felskörper verlor nun ſeinen Halt und ſtürzte in das Thal, das von der Alpe Brenta Alta nach der Bocca di Brenta hinaufführt. Alle dieſe Felszähne ſind quer auf ihre Höhendimenſionen geſchichtet, und es ſcheint nun, daß der betreffende Felskörper, welchen die Schichtung nicht horizontal, ſondern ſchief durchſetzte, von einer Schichtfläche abgeglitten iſt, als das eingeſickerte und gefrorene Waſſer ihn von ſeiner Verbindung losgelöſt hatte.

„Die Höhe des abgeſtürzten Körpers beträgt jedenfalls mehrere Hundert Meter, ob 400 oder mehr, wage ich nicht zu entſcheiden, der Durchmeſſer etwa den vierten Teil der Höhe. Dieſe Maſſe iſt nun zunächſt eine Wandhöhe von etwa 200 m herabgefallen, dann auf eine vorſpringende Baſtion aufgeſchlagen und hat ſich von hier aus nach allen Richtungen in das Thal ergoſſen. Das Auffallende und Merkwürdige an der Sache iſt die Wahrnehmung, daß dieſer harte weiße Kalk nach ſeinem hohen Sturze nicht wie ein feſter Körper am Orte ſeines Falles liegen blieb, ſondern wie eine Flüſſigkeit, die hoch herab ausgegoſſen wird, nach allen Seiten unglaublich weit auseinander geſtoben iſt. Beweis dafür iſt die eine Thatſache, daß man mehr als $1^1/_2$ Stunde über die Trümmer zu klettern hat, wenn man zur Bocca di Brenta hinaufſteigt. Dabei konnte natürlich die Schicht, in welcher das Trümmerwerk den Boden bedeckt, nicht ſehr mächtig werden; ich ſchätze dieſelbe in den äußeren Partien des überdeckten Umkreiſes nur auf wenige Meter.

„Es müßte ein überwältigender Anblick geweſen ſein, dieſe Kaskade von weißem, kieſelhartem Kalk zu ſehen, welche ſich unter betäubendem Geräuſch ſcheinbar flüſſig wie Waſſer über die Felswände herab ergoß, umſchwärmt von einem Hagel ſcharfkantiger Geſchoſſe, die nach allen Seiten davonſprühten. Doch gönnte die Natur keinem Sterblichen dieſen Anblick; eine regneriſche Nacht verhüllte das Schauſpiel, nur die Bewohner von Santa Maria di Campiglio hörten das entſetzliche Getöſe und glaubten, die Welt gehe unter."

Die Veranlaſſung zum Eintritt eines Bergſturzes kann ſehr verſchiedener Art ſein, die Urſache beſteht immer darin, daß eine große Felsmaſſe, die ſchon vorher auf dem Punkte war, wo die natürlichen Böſchungsverhältniſſe eben noch den nötigen Halt boten, auf irgend eine Weiſe dieſer Unterſtützung beraubt wird und nun hinabſtürzt. Wohl der einfachſte Fall iſt der, daß ſteil aufgerichtete Schichten gegen ein Thal einfallen. Befindet ſich nun unter dieſen eine leichter zerſtörbare Lage, z. B. eine mergelige oder thonige Bank zwiſchen feſten Kalken, und wird dieſe durch unterirdiſch zirkulierende Waſſer ausgewaſchen, ſo verlieren die darüberliegenden Kalke ihren Halt und gleiten endlich auf der unterwaſchenen Schichtfläche in die Tiefe. Auf dieſe Weiſe, durch Abgleiten der „grauen Liaskalke" auf einer geneigten Schichtfläche, iſt vor Jahrhunderten der große Bergſturz entſtanden, der bei Roveredo in Südtirol vom Monte Zuna ins Etſchthal hinabgegangen iſt und über die ganze Breite des Thales reichte, ſo daß die Etſch geſtaut wurde. Nach einer Fuldaſchen Chronik hat dies furchtbare Ereignis im Jahre 883, unter dem Karolinger Karl dem Dicken, ſtattgefunden. Dante berichtet in der „Göttlichen Komödie" über die „Lavini di San Marco", unter deren Trümmern die Stadt Lagaris begraben liegen ſoll:

„Dem Bergſturz gleich bei Trento -- in den Schoß
Der Etſch iſt ſeitwärts Trümmerſchutt geſchleudert
Durch Unterwühlung oder Erdenſtoß —
Wo von dem Gipfel, dem er ſich entriſſen,
Der Fels ſo ſchräg iſt, daß zum ebnen Land,
Die oben ſind, den Steg nicht ganz vermiſſen."

Noch ungleich gewaltiger war der Sturz, der, durch das Erdbeben vom 25. Januar 1348 veranlaßt, vom Dobratsch in Kärnten niederging und 19 Dörfer verschüttete (vgl. S. 308).

Unter den zahlreichen Bergstürzen aus neuerer Zeit war namentlich die Katastrophe von furchtbarer Wirkung, die sich am 2. September 1806 zu Goldau in der Schweiz ereignete. Große Massen tertiärer Nagelfluh gerieten auf einer ausgewaschenen Mergelbank ins Gleiten, 15 Millionen Kubikmeter Gestein kamen ins Thal; 457 Menschen gingen zu Grunde, 111 Wohnhäuser, 2 Kirchen, 220 Scheunen und Ställe wurden verschüttet. Ein Augenzeuge, Zaym, schildert das Ereignis folgendermaßen: „Das unterhalb gelegene Berggehänge fing an, sachte hinzugleiten. Mit einemmal stürzt zu oberst an der größten Felswand ein mächtiges Stück nieder, die Felswände fangen langsam an, von ihrer Mutterschicht sich loszutrennen und gegen die Tiefe hinabzusinken. Das Erdreich am Bergabhang fängt nun auch an, sich voneinander zu schieben und statt der grünen Rasendecke die bräunlichschwarze Farbe nach außen zu kehren. Die unteren Wälder bewegen sich allgemach, und Tannenbäume in unzähliger Menge schwanken hin und her. Ganze Scharen von Vögeln lüften schnell ihre Flügel und richten unter Geschrei ihren Flug dem Rigi zu. Einzelne größere Steine rollen schon den Berg hinab, zerschmettern Häuser, Ställe und Bäume, und mehrere stürzen in verschnellertem Laufe als Vorboten der bald nacheilenden Masse in die Tiefe des Thales.

„Nun wird mit einemmal die Bewegung der Wälder stärker; ganze Reihen der vorher losgewordenen und sich senkenden Felsstücke, ganze Reihen stolzer Tannen, auf der obersten Felskante sonst so prachtvoll ruhend, stürzen in Unordnung übereinander und in die Tiefe nieder. Alles Losgerissene, Wald und Erde, Stein und Felswände, gerät jetzt ins Gleiten, dann in schnelleren Lauf und nun in blitzschnelles Hinstürzen. Getose, Gekrach und Prasseln erfüllt wie tief brüllender Donner die Luft, erschüttert das Ohr und tönt im Widerhall von tausend Bergklüften noch gräßlicher. Ganze Strecken losgerissenen Erdreiches, Felsstücke so groß und noch größer als Häuser, ganze Reihen von Tannen werden aufrecht stehend durch die Luft geschleudert. Die Schichtfetzen fliegen durch die Luft, man sieht unter ihnen durch die Landschaft im Hintergrunde. Ein rötlichbrauner Staub erhebt sich in Nebelgestalt von der Erde, hüllt die zerstörende Lawine in trübes Dunkel ein und läuft als düstere Wolke, wie vom Sturmwind gepeischt, vor ihr hin. Berg und Thal sind erschüttert, die Erde bebt, Felsen zittern, Menschen erstarren beim Anblick dieser fürchterlichen Szenen. Vögel, im Fluge gehindert, fallen auf die Stätte der Verheerung nieder, Häuser, Menschen und Vieh werden schneller als eine aus einer Kanone losgeschossene Kugel über die Erde hin und selbst durch die Luft fortgetrieben. Die aus ihrer Ruhe aufgeschreckte Flut des Lowerzer Sees bäumt sich auf und fängt im Sturmlauf auch ihre Verheerung an. Ein großer Teil der zerstörenden Masse erstürmt, im Thale angekommen, noch den jenseitigen steilen Fuß des Rigiberges, und einzelne Bäume und Felsstücke fliegen hoch am Abhang hinauf. Während der wenigen Augenblicke, in welchen der Leser diese Schilderung liest, in der Frist von 3—4 Minuten, hat das Ereignis begonnen und seinen Lauf vollendet."

Häufig findet der Abbruch nicht längs einer geneigten Schichtfläche statt, sondern an beliebigen Klüften, die im Gestein verlaufen; Unterwaschung durch einen Fluß, vermehrte unterirdische Zirkulation des Wassers infolge von Entwaldung können den Anlaß bieten. Den letzten Anstoß zum Eintritt des Ereignisses gibt häufig ein heftiger, mehrere Tage anhaltender Regenfall, wie ja in den Alpen die meisten Bergstürze im April niedergehen, zur Zeit der Schneeschmelze, oder im September, nach den heftigen Sommerregen.

Klar liegen die Ursachen bei der letzten großen Katastrophe, die in den Alpen vorgekommen ist, bei dem Bergsturz von Elm im Sernfthal bei Glarus in der Schweiz. Wir verdanken Heim eine sehr eingehende Untersuchung dieses Falles, der wir das Folgende entnehmen: Über

dem Orte Elm erhebt sich mit steilen Gehängen der Tschingelberg, der aus stark aufgerichteten und gewundenen Schichten eines der älteren Tertärzeit angehörigen Thonschiefers besteht und infolge seiner starken Neigung, des verhältnismäßig geringen Haltes und der starken Störung der Schiefer an sich schon Anlage zu drohenden Abbrüchen zeigte. Schon aus früherer Zeit wird von einzelnen kleineren Ereignissen dieser Art berichtet. Zum Unglück des Ortes bemerkte man, daß die Schiefer des Tschingelberges ein wertvolles, namentlich zu Schreibtafeln ausgezeichnet geeignetes Material darstellen; man fing an, sie auszubeuten, bald vergrößerte sich der Betrieb, es entstand ein bedeutender Steinbruch, der namentlich an Nürnberger Fabriken das Material zu Millionen von Schreibtafeln lieferte. Aber diese Ausbeutung wurde ohne Rücksicht auf die möglichen Folgen, ohne gehörige technische Leitung, planlos ausgeführt und das gefährliche Gehänge unterwühlt; zudem wurde sehr viel und stark mit Pulver und Dynamit gesprengt und durch die fortwährende Erschütterung bei den Explosionen das innere Gefüge des Gesteins gelockert. Im Jahre 1879 war das Gehänge durch den Steinbruch auf eine Länge von 180 m unterwühlt, und die Folgen solcher Arbeiten machten sich rasch geltend; kleine Abbrüche und Spaltenbildungen traten unten auf, allmählich aber zeigten sich auch hoch oben am Gehänge unheilverkündende Risse, kleinere Stürze erfolgten, und Jäger und Wildheuer berichteten, daß man die Erschütterung bei Sprengungen unten hoch oben am Berge fühle. Es bildete sich in der Höhe eine große Hauptspalte, „der große Chlagg", der ein mächtiges Stück aus dem Gehänge herauszuschneiden schien; Ende August 1881 war die Kluft 2—3 m breit, und der darunterliegende Boden hatte sich um 4—5 m gesenkt. Der Boden im Walde blähte sich an manchen Stellen, Steinstürze mehrten sich, der Steinbruch wurde Anfang September verlassen, aber einen größeren Einsturz erwartete man erst im Frühjahr zur Zeit der Schneeschmelze.

So kam der 11. September, der Vormittag brachte einige Abstürze, aber gegen Abend trat die Katastrophe ein, über die der Lehrer Wyß berichtet: „Von Nachmittag 4 Uhr an stand ich am offenen Fenster, die Uhr in der Hand, und beobachtete möglichst scharf die Bewegungen des Berges. Immer schälten sich bald oben, bald mitten oder unten kleinere Portionen ab, die obersten Tannenreihen des Waldes begannen sich rückwärts in die Felsspalten zu senken.

„Der erste größere Sturz erfolgte genau 5 Uhr 15 Minuten; die Felsmassen schossen blitzschnell zu Thal, sie bedeckten das Schieferbergwerk, die mit Schiefer und Werkzeugen angefüllten Warenlager der Gemeinde, das Grundstück Allmeindli samt der ‚Wirtschaft zum Martinsloch', aus welcher die Bewohner zwei Tage vorher geflohen waren. Auch die Rinnen des Tschingel- und Raminbaches wurden ausgefüllt. Die Bewohner des Unterthales (einer vom Hauptdorf etwas abseits liegenden, besonders stark bedrohten Ortschaft) flohen gegen die Anhöhen zu den Stätten der Liegenschaften Alpegli und Jägliweid unterhalb Düniberg, wo sie sich sicher wähnten. Aus dem Dorfe eilten einige Männer nach dem Unterthal, um retten zu helfen. Der zweite, noch größere Sturz erfolgte 17 Minuten später (5 Uhr 32 Minuten) und fegte mit rasender Schnelligkeit über die frühere Schuttmasse ins Unterthal, verschüttete mehrere schöne Güter und das Haus des Murrwirtes Jakob Disch. Noch 4 Minuten, und es erfolgte der Hauptsturz. Die gewaltige Masse, unten ausgleitend, krachte hoch durch die Luft daher. Der Erdboden zitterte; ich eilte schleunigst aus dem Hause über die Landstraße. Kaum hatte ich 20 Schritt gethan, so krachten hinter mir die Häuser im Müsli zusammen. Nach meiner Schätzung, in Übereinstimmung mit anderen zuverlässigen Zuschauern, hatte die Schuttmasse in 2, höchstens 3 Minuten[1]

[1] In Momenten der Todesgefahr wird die Zeitdauer sehr überschätzt; Heim hat die Zeitangaben dadurch kontrolliert, daß er versuchte, wie lange Zeit man braucht, um die Strecken in raschem Laufe zurückzulegen, die einzelne der Geretteten während des Hauptsturzes durchmessen zu haben angaben, und kam dadurch zur Annahme einer Dauer von 10 bis höchstens 25 Sekunden.

das untere Ende, wo sie jetzt liegt, erreicht. Eine grausige, schiefergraue Staubwolke lagerte über der gräßlichen Unglücksstätte."

Die Felsmassen, die herabkamen, werden auf 10 Millionen Kubikmeter geschätzt; beim Hauptsturz flogen sie einem Wasserfall vergleichbar herab, fielen beim Steinbruch auf und wurden nun von den nachdrängenden Massen blitzschnell horizontal über den Thalboden weggeschoben, sie brandeten an dem Gehänge des Düniberges hinan und schossen dann, durch diesen abgelenkt, thalabwärts, den Ackerboden aufschürfend und Häuser vor sich herschiebend und zermalmend. Der Weg im Thale, der auf diese Weise zurückgelegt wurde, beträgt 1400 m. Die dabei erzeugte

Der Bergsturz bei Elm vom 11. September 1881. (Nach A. Heim.)

Luftströnung war so stark, daß sie Menschen in die Höhe wirbelte und in einiger Entfernung niedersetzte, und manche der Bewohner verdanken ihre Rettung solch unheimlicher Luftfahrt. Der durch diesen Bergsturz angerichtete Schade wurde vom Pfarrer Buß in Glarus in ergreifender Weise geschildert; von 1000 Menschen wurden 115 verschüttet und erschlagen, 83 Gebäude zerstört, der Schieferbruch, eine Haupteinnahmequelle der Einwohner, und die fruchtbarsten Thalstrecken für immer verwüstet (s. obenstehende Abbildung).

Weniger durch die Masse des bewegten Materials als durch die eigentümliche Veranlassung dazu verdient der am 9. Juli 1892 erfolgte Bergsturz von Langen an der Westseite des Arlberges Beachtung. Auf der Nordseite des ungefähr 1080 m hoch gelegenen Klosterthales erhebt sich der steile Kamm der Blisadonna, von dem in 2100 m Höhe eine ungefähr 20 m mächtige Partie los- und durch den Großen Tobel in das Thal niederging. Die Reichsstraße und der Damm der Arlbergbahn wurden 300 m weit 3,3 m hoch überschüttet. Die Sturzhöhe betrug über 1000 m, weshalb sich die Bewegung mit so außerordentlicher Vehemenz vollzog, daß die

Sturzbahn vertieft und förmlich ausgefegt wurde. Die aus Kalkſtein und Rauchwacke beſtehenden Schichttafeln am Kamme der Biſadonna zeigen eine Neigung von 85° gegen Süden, nach dem Thale zu; ſie ſtehen ſomit faſt ſenkrecht, und die Eroſion findet in den zahlreichen Schichtfugen ebenſo viele Angriffsflächen, den Zuſammenhang der frei aufragenden Tafeln zu lockern. Durch eine beſonders tiefe, nach einer Schichtfläche verlaufende Kluft, die ſchon im Jahre 1891 vorhanden war, wurde die äußere Partie des Felsabhanges vom eigentlichen Körper des Berges gelöſt, und da ſie auch nach dem Thale zu keine ſeitliche Unterſtützung hatte, mußte ſie durch die Wirkung der Schwere thalwärts gezogen werden; die Schichttafeln wurden abgeknickt und brachen an ſcharfkantigen Schichtköpfen quer ab.

In anderen, wenn auch ſelteneren Fällen bieten Erdbeben den Anſtoß, wie wir das z. B. bei den furchtbaren Erſchütterungen ſahen, die im Jahre 1870 in der Umgebung von Delphi ſtattgefunden haben, und wie es am Dobratſch der Fall war. Eins der gewaltigſten Ereigniſſe dieſer Art, das ſich in Armenien am Fuße des Großen Ararat zugetragen hat, und wobei das Dorf Anguri vollſtändig vernichtet wurde, hat Abich geſchildert. Von Anguri aus führt eine enge, tiefe Schlucht, ein „Baranco", zu einem mächtigen, in den Körper des Ararat einſchneidenden, gletſchererfüllten Felszirkus. Durch ein ſehr heftiges Erdbeben löſte ſich ein rieſiger Bergſturz von den Gehängen der Schlucht los, ſo daß dieſe bis zu einer gewiſſen Höhe vollſtändig abgeſperrt und der Gletſcherbach mächtig geſtaut wurde. Gleichzeitig ſtürzten aus den höheren Regionen gewaltige Maſſen von Eis, Firn und Felstrümmern nieder und wälzten ſich in den durch Aufſtauung des Baches entſtandenen See. 72 Stunden lang vermochte der durch den Bergſturz gebildete Thalriegel dem Drucke dieſer breiigen Maſſen zu widerſtehen, dann wurde er durchbrochen, und ein furchtbarer Strom von Waſſer, Eis, Schlamm, Schutt und rieſigen Felsblöcken raſte im Thale bergab, begrub Anguri ſamt ſeinen Einwohnern und führte ungeheure Felsblöcke auf die Entfernung von einer geographiſchen Meile mit ſich fort. Der größte Block hatte einen Umfang von 90 m.

Für einige Bergſtürze war man im ſtande, die Geſamtmaſſe des herabgelangten Materials zu ſchätzen. Für den Bergſturz von Elm gibt Heim, wie ſchon erwähnt, 10 Millionen Kubikmeter an, für den von Goldau 15 Millionen; für den Sturz der Diablerets im Wallis wurde die Zahl von 50 Millionen Kubikmeter berechnet, und noch bedeutend größere Zahlen mußten für den Sturz des Dobratſch angenommen werden. Weitaus die gewaltigſte Erſcheinung dieſer Art aus vorhiſtoriſcher Zeit bilden nach Heim die Reſte des Sturzes von Flims in Graubünden: „Sein Schutt erſtreckt ſich als zuſammenhängender, wohl 600 m hoher Berg von den Maienſäſſen ob Flims bis jenſeits des Rheins hinter Verſam und Bonaduz und von der Nähe von Ilanz bis Reichenau; auf ſeiner Oberfläche befinden ſich acht kleine Seen. Der Rhein und ſeine Zuflüſſe haben ſich in Geſtalt wilder Schluchten in den gewaltigen, thalabſperrenden Hügel eingeſägt, während oberhalb Ilanz noch heute in Kiesterraſſen die Spuren eines alten Sees nachweisbar ſind, der durch den Flimſer Sturz geſtaut wurde." Die abgeſtürzte Geſteinsmaſſe wird von Heim auf 15 Kubikkilometer oder 15 Milliarden Kubikmeter geſchätzt, alſo 1500mal ſo viel Material, als der Bergſturz von Elm, oder 1000mal ſo viel als der von Goldau (1806) geliefert hat. Die mächtigſten vulkaniſchen Ausbrüche, wie der des Krakatau vom Jahre 1883, der 18 Kubikkilometer ausgeſtreut hat, der des Tomboro (1815), der des Conſeguina und der Lavaerguß der Skaptar-Spalte auf Island, zeigen ſich unzweifelhaft überlegen, aber ſonſt dürften ſich wenige der näher bekannten Eruptionen in der Größe der bewegten Maſſen mit dem Bergſturz von Flims meſſen können.

In großer Zahl werden aus den verſchiedenen Gebirgen Bergſtürze aufgezählt, die in den letzten Jahrhunderten, Leben und Eigentum der Einwohner vernichtend, herabgekommen ſind;

aber natürlich gewährt diese traurige Liste nur eine sehr dürftige Vorstellung von der Menge solcher Ereignisse, die sich wirklich vollzogen haben. Es ist sehr zweifelhaft, ob heute, wo doch überall geologische Aufnahmen gemacht werden, wo die Freude an der großartigen Natur und der Bergsport jährlich Tausende von Fremden in die Alpen führen, jeder Bergsturz bekannt wird, der sich in einem abgelegenen, nicht bewohnten und nur selten betretenen Thale ereignet. Ganz sicher aber ist es, daß uns aus früheren Jahrhunderten nur von den allerauffallendsten und gewaltigsten Erscheinungen das Andenken aufbewahrt worden ist, und auch dies nur aus Gegenden, die sich einer höheren Kultur erfreuen.

Wir haben oben bei der Schilderung des Bergsturzes von Elm gesehen, wie sich der Bruch allmählich vorbereitete, wie das Absitzen des Terrains, die Bildung der Spalten, die kleineren Abrutschungen vorangingen, und daß man den Eintritt größeren Schadens voraussah. In derselben Weise kündigen sich alle derartigen großen Stürze vorher an, und es ist von großem Wert, die Symptome genau festzustellen, wenn auch die Erfahrung zeigt, daß keine noch so eindringliche Warnung die Sorglosigkeit und das Beharrungsvermögen der Bergbewohner, ihre Anhänglichkeit an die Scholle zu überwinden vermag. Heim hat die dem Sturze vorangehenden Erscheinungen genau untersucht und ist zu folgendem Ergebnis gelangt:

„Die Erfahrung hat gelehrt, daß Vorzeichen eines Bergsturzes niemals fehlen und sich namentlich bei großen Bergstürzen in auffallender Weise zeigen, indem der Abbruch sich langsam oft während Jahrzehnten vorbereitet. Kein Bergsturz tritt plötzlich ein. Es ist ferner von Bedeutung, die Vorzeichen kleinerer, unbedeutender Gesteinsablösungen von denen größerer Bergstürze und diejenigen der Schuttbewegungen von denjenigen der Felsbewegungen zu unterscheiden. Handelt es sich um Schuttbewegungen, so beobachtet man meistens zahlreiche weniger lange Spalten, welche sich in Reihen anordnen; handelt es sich um eine große, gefährliche Felsabtrennung, so ist der obere Abriß gewöhnlich durch eine zusammenhängende Hauptspalte gebildet. Am oberen Rande des Tschingelberges bei Elm z. B. hat eine solche im Sommer 1879 begonnen und bis August 1881: 400 m Länge erreicht, wobei sich der äußere Teil um mehrere Meter nach unten und vorn gesenkt hatte, was eine Massenabtrennung gefährlichster Art andeutete. Ganz ähnliche Berichte haben wir von Goldau und Plurs. Je länger bei fortgesetzter Bewegung der Sturz ausbleibt, desto größer wird er sein. Naht der Abbruch, so erweitern sich die Spalten stetig, und einzelne kleinere, vorgestoßene Steinstücke lösen sich zuerst oben und an den Seiten ab. Dieses Steingerieſel nimmt im Verlaufe von Stunden oder Tagen zu, größere Trümmer poltern immer weiter hinab, und sieht man endlich Steinstücke im unteren Teile des Abrißgebietes herausbrechen, was auf ein Weichen des Fußes hindeutet, dann ist der Abbruch ganz nahe. Bei ganz großen Bergstürzen hat man stets ein vorangehendes Knistern, Krachen oder Knirschen, oft sogar ein Knallen im Inneren des Berges selbst bis auf mehrere Kilometer Entfernung auch dann vernommen, wenn keine Steinstürze Geräusch verursachten. Dasselbe rührt offenbar von der inneren Bewegung der abreißenden Massen her. In Plurs, in Goldau, an den Diablerets, in Elm begannen diese Erscheinungen wenigstens 6—10 Stunden, am Vorderglärnisch 21 Stunden vor dem Sturze. Im Schieferbruch von Elm hatte man sie in stiller Nacht schon seit langer Zeit vernommen. Eine Menge anderer Vorzeichen, wie z. B. Aufspritzen von Steinen am Fuße des Berges von Goldau, sobald der Boden mit einem Werkzeug verletzt wurde, in anderen Fällen plötzliches Trüben oder Versiegen von Quellen ꝛc., sind weniger allgemeiner Natur. Sehr oft zeigen sich die Tiere empfindlicher für die Vorzeichen als die Menschen. Am Monte Conto bei Plurs verließen die Bienen schon zwei Tage vorher in Schwärmen ihre Stöcke, die Kühe auf der Weide wurden sehr unruhig und flohen zum Teil. In Elm sind die Menschen nicht geflohen, aber Vögel, Katzen und eine Kuh haben sich durch rechtzeitige Flucht gerettet.

„Wir können mit aller Bestimmtheit sagen, daß in Plurs, an den Diablerets, in Goldau, in Elm und noch bei vielen anderen großen Bergstürzen kein einziger Mensch sein Leben verloren hätte, wenn diese Vorboten richtig gewürdigt worden wären, anstatt daß man da und dort die Ängstlichen durch Verlachen zum Schweigen gebracht hat. Es ist für uns vielfach sogar unbegreiflich, daß die Menschen dem zunehmenden Gepolter zusahen, ohne zu fliehen. Der Sturz am Vorderglärnisch, dessen Vorboten allerdings für die Thalbewohner leicht sichtbar und hörbar waren, ist der einzige mir bekannt gewordene, bei welchem man rechtzeitig flüchtete. Nicht etwa, daß man die Vorboten in den anderen Fällen übersehen hätte, bei den meisten der genannten Beispiele war man überzeugt, ‚daß der Berg einmal kommen werde', sie kannten und bemerkten die Vorboten, ohne ihnen zu glauben und sie zu würdigen.

„Für die außerhalb des Gebirges aufgewachsenen, leichter erregbaren Menschen ist die Ahnungslosigkeit, welche meistens die Bergbewohner zeigen, geradezu unbegreiflich. Allein man gewöhnt sich leicht an die Gefahr und stumpft sich dagegen ab. Ein gewisses Quantum von Sorglosigkeit ist dem Gebirgsbewohner notwendig, aber zu viel ist schlimm. Als an sicherer Stelle Neufelsberg gebaut worden und die Bewohner den bedrohten Ort verlassen und dort einziehen mußten, kehrten sie trotz der Gefahr sehr bald in das liebe alte Nest zurück. Die Elmer kennen genau die Gefahr, in welcher der noch erhaltene Teil des Ortes steht; aber zwischen dieser Erkenntnis und dem Ausziehen besteht für sie kein Zusammenhang, das erstere ist Verstandessache, das letztere Gemütssache. Lieber unter Gefahr auf eigenem Boden, im eigenen Hause wohnen, als fremd und von der Heimat ausgestoßen sichere Unterkunft suchen."

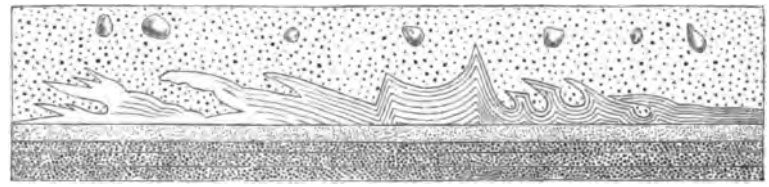
Viel leichter als feste Felspartien kommen natürlich lose Schutt- und Geröllmassen in Bewegung; aber der Natur der Sache nach treten hier nicht so plötzlich riesige Massenstürze ein, in der Regel findet ein allmähliches Gleiten statt, das allerdings oft in unaufhaltsamem Fortschreiten Gebäude zum Einsturz bringt, Felder, Wiesen, Wälder verwüstet, aber doch infolge des langsamen Tempos nur selten Menschenleben gefährdet. Besonders lästig werden solche sich verschiebende Schuttmassen für die Eisenbahnen, namentlich im Gebirge, und es ist bekannt, mit welchen Schwierigkeiten die meisten Alpenbahnen in dieser Beziehung zu kämpfen haben. Die losen Massen, durch Einschnitte oder Tunnelanlagen in ihrer Gleichgewichtslage gestört, geraten in gleitende Bewegung, der Bahnkörper wird verschoben, Tunnels zerquetscht, und es bedarf oft langer Zeit und kostspieliger Arbeiten, ehe das Terrain zur Ruhe kommt. Wo Abrutschungen loser Massen stattfinden, geben sie sich in der Regel zuerst dadurch zu erkennen, daß sich in dem oberen Teil des Rutschgebietes Spalten bilden, häufig in einem nach oben konvexen Bogen, während am Fuße, im unteren Teil, der Boden wulstig aufgeschoben wird. Je nach der Stärke des Schubes gerät die gleitende Masse mehr oder weniger in Unordnung und in wälzende Bewegung, oder einzelne Teile rutschen an den Spalten, meist in keilförmigen Schollen, treppenartig ab.

Abgesehen von der mechanischen Verletzung der Gehänge durch Abgrabung oder Unterwaschung durch fließendes Wasser, ist die häufigste Ursache solcher „Erdschlipfe" in Quellen zu suchen, die von obenher in das lose Terrain versickern, durch ihre fortwährende Thätigkeit den Zusammenhang lockern und die Böschung ihres Haltes berauben. In erster Linie ist daher bei Untersuchung solcher Rutschterrains, die bedeutenden Schaden anrichten können, die Aufgabe gestellt, die Wasserverhältnisse kennen zu lernen und Quellstränge oder oberflächliche Wasseradern, die in den Schutt versickern, abzufangen und fortzuleiten.

Bisweilen führt künstliche Belastung eines wenig widerstandsfähigen Untergrundes zu Gleitbewegungen. Wir wollen aus der Menge bekannter Thatsachen nur ein Beispiel kurz hervorheben. Am Ufer des Zuger Sees breitet sich unter einer 2—4 m mächtigen Sand- und Kiesschicht

eine 20—30 m dicke Lage weichen Schlammsandes aus. Diese wurde durch die Last der darüber aufgebauten Häuser geradezu in den See hinausgepreßt und hat sich dort nachweisbar auch in bedeutender Entfernung vom Ufer abgelagert. Lange Zeit drohte die Gefahr einer Rutschung, die endlich am 5. Juli 1887 ohne eine besondere Veranlassung eintrat. In zwei Absätzen wurden ungefähr 150,000 cbm Land mit vielen Häusern und 11 Menschen in den See versenkt. Daß solche Bewegungen im losen Schwemmland auch durch Erdbeben veranlaßt werden, wurde schon im Vorhergehenden bemerkt (S. 310).

Auf eigentümliche Gleitungserscheinungen loser Massen, die z. B. in den jungen Ablagerungen des Wiener Beckens in ausgezeichneter Weise vorkommen, hat namentlich Th. Fuchs hingewiesen. Sehr allgemein findet man, daß Schichten von Thon, Sand, Geröll, die ursprünglich horizontal übereinander abgesetzt waren, nun in der verwickeltsten, aber in ganz kleinem Maßstab auftretenden Weise gefaltet, geknickt, zerrissen und gleichsam ineinander geknetet sind. Dabei ist nicht die geringste Spur einer tektonischen Veränderung im großen, eines Eingreifens gebirgsbildender Kräfte zu bemerken. Die geschilderte Erscheinung zeigt sich vielfach in Thonen, die mit den Blocklehmablagerungen der diluvialen Eiszeit in Verbindung stehen. Diese Beobachtung wurde zuerst von englischen Geologen gemacht und hat sich später auch in Norddeutschland bestätigt gefunden. An vielen Stellen sieht man die unter dem diluvialen Blocklehm liegenden Ablagerungen verschiedener Art, namentlich die diluvialen „Bänderthone", sonderbar gestaucht und gefaltet (s. obenstehende Abbildung). Die häufig auftretende Verbindung solcher Stauchungen mit den diluvialen Ablagerungen hat zu der Annahme geführt, daß sie durch den Druck der sich vorschiebenden Eismassen erzeugt worden sei. Diese Deutung ist in den Fällen, in denen die Vergesellschaftung beider Erscheinungen deutlich wahrnehmbar ist, eine ziemlich wahrscheinliche; dagegen ist es unrichtig, jede derartige Stauchung auf Gletscherwirkung zurückzuführen. So hat Penck aus dem bayrischen Gebirge eine Anzahl von Punkten geschildert, an denen Fältelungen von Thonen ganz unabhängig von glazialen Erscheinungen auftreten. Ebensowenig stehen die sehr auffallenden Verschiebungen dieser Art im Wiener Becken mit Glazialerscheinungen in Zusammenhang.



Gestauchte Diluvialablagerungen aus den Kiesgruben bei Konnewitz. (Nach H. Credner.)

Offenbar kann eine Fältelung loser Massen unter sehr verschiedenen äußeren Verhältnissen vor sich gehen, wenn ein gelinder Druck oder Schub lange Zeit hindurch gleichmäßig und anhaltend auf sie einwirkt, und sehr häufig besteht diese Kraft lediglich in dem eigenen Gewicht dieser Ablagerungen, die an Gehängen und Böschungen, kurz überall, wo ein seitliches Ausweichen möglich ist, in eine sehr langsame, fließende und wälzende Bewegung geraten.

Wildbäche.

Bei vielen der bis jetzt besprochenen Erscheinungen fällt der Einwirkung des Wassers nur eine ganz untergeordnete Rolle zu, bei anderen dagegen, z. B. bei der Katastrophe von Anguri, war dessen Thätigkeit eine sehr wichtige. Wir werden durch solche Vorkommnisse zu einer anderen Gruppe von Vorgängen hinübergeführt, zu den plötzlich vorbrechenden Wasser- und Schuttströmen

im Hochgebirge, den Wildbächen. Wer je die Alpen besucht hat, kennt die ungeheuern Massen von Geröllen, die ihrer ganzen Lagerung und Beschaffenheit nach in junger Zeit vom Wasser herabgeschwemmt worden sein müssen, ohne daß irgend ein nennenswerter oder überhaupt irgend ein Wasserlauf vorhanden wäre, dem der Transport zugeschrieben werden könnte. Von Seitenschluchten aus, die unter normalen Verhältnissen fast trocken liegen, sieht man riesige Schuttkegel in das Hauptthal hinausreichen, und der Unerfahrene, der mit der plötzlich ausbrechenden Wut der Alpenwasser nicht vertraut ist, sieht sich staunend nach der bewegenden Kraft für diese Schuttmassen um. Er braucht aber nur ein Hochgewitter im Bereich dieser Runsen erlebt zu haben, um die Erklärung zu finden. Von allen Seiten rauschen die Wasser gegen den Boden der Schlucht, und wo vor einer halben Stunde volle Trockenheit herrschte oder nur ein unbedeutendes Bächlein rieselte, tost nun ein wütender Bergstrom herab, dickschlammiges Wasser führend, das massenhafte Gerölle, Steine, Felsblöcke zusammen mit entwurzelten Bäumen in die Tiefe wälzt. Eine ähnliche Wirkung übt eine rasche Schneeschmelze, namentlich infolge einfallenden Föhnsturmes, und unter Umständen sind die Mengen der festen Teile, die mitgeführt werden, so groß, daß man es nicht mehr mit einem sich rasch bewegenden Wasser, sondern mit einer sich unaufhaltsam vorschiebenden dickbreiigen Schlamm- und Schuttmasse zu thun hat, die sich dann, wo geringeres Gefälle eintritt, in beträchtlicher Dicke ablagert. Wohl jedem Alpenwanderer, der viel herumstreift, ist es schon widerfahren, daß er von einem solchen Erguß in seinem Wege gehindert war und ratlos nach einer Möglichkeit umherblickte, ihn zu überschreiten. Es sind das die vielgefürchteten Muren oder Murbrüche, in der Schweiz Ruffi genannt, die in schwächerer Entwickelung als häufige Begleiter heftiger Gewitter auftreten. Bisweilen erreichen sie aber so riesenhafte Dimensionen, daß viele Strecken fruchtbaren Landes und ganze Dörfer mit Schutt überdeckt, „vermurt", und große Flüsse durch die aus Seitenthälern hervorbrechenden Massen abgedämmt und gestaut werden.

Die Bedingungen für die Entstehung der Murbrüche sind sehr einfach: stark geneigter Boden, dessen Beschaffenheit ein sehr rasches Abfließen des Wassers begünstigt, und das Vorhandensein großer loser Massen, zu deren langsamer und geregelter Wegschaffung die vorhandenen Wasserläufe bei normaler Stärke nicht ausreichen, das sind die Verhältnisse, unter denen ein Thalsystem zum „Murgang" wird. Wo die losen Massen fehlen, da findet zwar unter Umständen nach Regengüssen ein plötzliches sehr starkes Anschwellen der Wasser statt, aber dieses Wasser bringt nicht die enormen Schuttmengen mit. Anderseits treten die erwähnten Folgen auch bei starker Neigung des Bodens und trotz mächtiger Massen losen Materials nicht ein, wenn die Verhältnisse dem augenblicklichen Ablauf des Wassers nicht günstig sind, vor allem, wenn reicher Waldwuchs hindernd entgegentritt.

In den Alpen trägt besonders ein Umstand dazu bei, den Murgängen reichliches Material zuzuführen: in den meisten Thälern sind die Gehänge der Berge mit außerordentlich mächtigen Massen von Schutt aus der Eiszeit bedeckt, und zwar sind es bald direkt Moränen aus jener Zeit, bald durch deren Umschwemmung erzeugte Ablagerungen von Thonen, Sanden und Geröllen, Bildungen von sehr geringem Zusammenhang und Widerstandskraft, die von den Hochwassern leicht aufgewühlt werden.

Man kann im Thallauf der „murenden" Wildbäche drei Abteilungen unterscheiden. Zu oberst an den Gehängen breitet sich das Sammelbecken oder der Trichter aus, meist eine kesselartige Erweiterung des hinteren Thalgrundes, von einer Menge untergeordneter Rinnen durchzogen, die alle auf die äußere Felsumrandung des Sammelbeckens zulaufen, bis sie sich endlich sämtlich in eine einzige tief eingerissene Schlucht, den Abzugskanal, „Tobel" oder „Hals", des Wildbaches vereinigen. Das Sammelbecken liegt immer unterhalb der Schneegrenze und

oberhalb der Waldgrenze. Wo nicht entforstet ist, bleibt also ein engerer Raum für die Geburtsstätte der tosenden Wasserstürze; wo dagegen die Berge des schützenden Baumwuchses entkleidet sind, kann sich das Wasser sehr weit ausdehnen, und um so größer und gefährlicher werden die Fluten. Der Abzugskanal oder Tobel, der zweite Abschnitt des Wildbaches, ist eine verhältnismäßig enge, oft sehr tief eingerissene Schlucht. Wo sie in eine Thalweitung endet, da wird der Schutt der Mure abgelagert; er breitet sich in einem flachen Kegel aus, dem Schutt- oder Schwemmkegel, der den dritten Abschnitt des Wildbaches bildet.

„Nach ausgiebigem atmosphärischen Niederschlag oder bei plötzlichem Abfließen von Schmelzwasser wird binnen kürzester Zeit das Schuttmaterial des Sammelbeckens vollständig durchtränkt und aufgeweicht; es wird dadurch viel schwerer, als es früher war, und kommt ins Gleiten und Rutschen. Ein dicker Brei, ein teigartiges Gemenge von etwa zwei Dritteln Schlamm, Schutt und Felsentrümmern und einem Drittel Wasser, wälzt sich aus dem Sammelbecken durch den engen Tobel hinab und ergießt sich über die Niederungen. Mit Einem Erguß ist es selten abgethan; meistens folgen in kurzen Zwischenräumen mehrere kräftige Nachschübe, hervorgerufen durch Stauungen des lavaähnlichen Schlammbreies, wie sie in dem Tobel leicht entstehen können. Während der Wildbach in dem Sammelbecken vorzugsweise aufwühlt und herabschleppt, stößt er bei Passierung des Tobels große Löcher in dem Bette aus; diese Auskolkungen sind jedoch weniger gefährlich als die einseitigen Unterwaschungen der Tobelwände, infolge deren jederzeit die großartigsten Abrutschungen und Einstürze erfolgen können. Der Tobel, welcher bereits inmitten der Waldregion liegt und oft zwischen turmhohen Mauern von Glazialschutt eingeschnitten ist, wird dann durch herabstürzende oder von oben mitgebrachte Baumstämme, durch Wurzelwerk und riesige Felsblöcke förmlich verstopft. Diese Abdämmung der engen Schlucht dauert so lange an, bis die aus dem Sammelbecken sich unaufhörlich herabwälzenden Schlamm- und Wasserwogen die Sperre durchbrechen können. Mit um so größerer Wucht sausen jetzt die haushohen Schlammfluten unter polterndem Getöse durch die Enge des Tobels hinunter in die Thalweitung. Der Boden zittert, Fenster klirren wie bei einem Erdbeben, Funken sprühen von den aufeinander prallenden Felstrümmern, ringsum verbreitet sich ein brenzliger Geruch. Endlich gelangt die Masse, fächerförmig sich ausbreitend, zur Ablagerung. Unter dem cyklopischen Haufwerk des Schwemmkegels verschwindet alles, was im Wege liegt; kaum ragen von den stattlichen Häusern die Schornsteine heraus. Weithin bezeichnet den Lauf des Wildbaches ein trostloses Bild der Zerstörung.“ (G. A. Koch.)

Dies ist der Verlauf eines Murbruches gefährlicher Art. Besonders bedenklich werden seine Folgen, wenn der Wildbach in ein größeres Thal mündet und hier das Bett des Flusses abdämmt. Bisweilen sind die Massen so groß, daß der Fluß sie nicht zu bewältigen vermag. Er wird dann zum See aufgestaut, dessen Wasser die Felder verwüsten und die Wohnungen der Menschen bedrohen. Manchmal entsteht so ein bleibender See, wie das in mehreren Fällen in den Alpen geschehen ist; weit häufiger aber durchbricht der Fluß im Laufe der Zeit die aufgeworfene Barre, und der See läuft wieder ab. Glücklich, wenn das langsam und allmählich geschieht; wenn aber der Damm plötzlich zerrissen wird, dann stürzt die angesammelte Wassermasse, alles vor sich zerstörend, thalabwärts. Die gewaltigsten und verheerendsten Murbrüche erfolgen meist durch die Mitwirkung besonderer Faktoren, die sich glücklicherweise nicht häufig wiederholen. In der Nacht vom 17. auf den 18. August 1891 ging im Thale des Ganderbaches in Südtirol eine Mure zum Eisackthal nieder, durch die 43 Menschen ums Leben kamen und 16 Häuser im Dorfe Kollmann zerstört wurden. Der Eisack wurde durch die Masse des herabgelangten Gesteins gestaut, der Eisenbahndamm auf 700 m Länge zerstört und mit Blöcken bis zu 20 cbm Inhalt überschüttet. Dies alles war das Werk von wenigen Minuten, aber es

konnte nur geſchehen, weil durch ein der eigentlichen Kataſtrophe vorausgehendes Hochgewitter eine Bergrutſchung entſtanden war, durch die das Thal hoch oben im Gebirge abgeſperrt und in einen Stauſee verwandelt wurde. Um Mitternacht folgte ein zweiter Wolkenbruch; nun vermochten die vorgelagerten Geſteinsmaſſen den Druck des gewaltig angewachſenen Stauſees nicht mehr zu ertragen, und mit raſender Gewalt brach die ganze Maſſe von Waſſer und Geſtein über das unglückliche Thal herein.

Die Bildung eines Stauſees war auch die Urſache der furchtbaren Überſchwemmungen, die in den Jahren 1887, 1888, 1889 und 1891 ſtets im Monat Juni das Martellthal in Südtirol heimſuchten; nur war dieſer See in anderer Weiſe entſtanden. In das oberſte Martellthal reichen zwei Gletſcher herab; der tiefer unten mündende Zufallferner ſchiebt ſeine mit Moränenſchutt be-

Das Bad St.-Gervais in Savoyen, nach der Kataſtrophe vom 12. Juli 1892. (Nach Photographie.) Vgl. Text, S. 473.

ladene Eiszunge bis an die jenſeitige Thalwand und ſchließt dadurch das obere Thal mit dem Langenferner ab. Natürlich mußte nun zwiſchen dem Ende des Zufallferners und dem Langenferner ein Eisſee aufgeſtaut werden, der ſchließlich für das Schmelz- und Niederſchlagswaſſer nicht mehr genügte und endlich durchbrochen wurde. Durch das ganze Martellthal bis in das Etſchthal hinab erſtreckten ſich die furchtbaren Vermurungen dieſer Ausbrüche.

In der Gletſcherregion iſt auch die Urſache der Eis-, Schlamm- und Steinlawine zu ſuchen, die in der Nacht vom 12. Juli 1892 den Badeort St.-Gervais und die Ortſchaft Bionnay am Abhang des Montblanc heimgeſucht und nicht nur gewaltige Verwüſtungen angerichtet, ſondern auch viele Opfer an Menſchenleben gefordert hat. Am Stirnende des kleinen Gletſchers Tête rouſſe hatten ſich zwei große trichterförmige Höhlungen gebildet, in denen Waſſer eingeſchloſſen war, das, vielleicht durch Verſtopfung der Austrittsſtellen, nur ungenügenden Abfluß fand, bis es endlich ſamt dem Eiſe der Gletſcherzunge und dem Moränenſchutt ausbrechen mußte. Beladen mit Geröllmaſſen, Felsblöcken und Schlamm gelangte die Lawine mit raſender Geſchwindigkeit ins Thal, füllte, ſich fortwährend vergrößernd, die Schlucht von Bionnay 35 m hoch an, vergrub

den unglücklichen Badeort St.-Gervais und ergoß sich endlich bei Le Fayet erschöpft in die Arve. Von der Gewalt der Bewegung gibt die Thatsache eine Vorstellung, daß einzelne der fortgeschobenen Blöcke bis zu 200 cbm Inhalt hatten, wie der auf S. 472 abgebildete Block, der mitten im Badeort liegen blieb, an der Stelle, wo früher der Speisesaal gestanden hatte. Die Masse des thalwärts gebrachten Materials wurde auf 800,000 cbm geschätzt.

Kann schon eine einzelne Mure so fürchterliche Folgen mit sich bringen, so begreift man die ungeheuern Verwüstungen, die entstehen, wenn nicht nur ein oder der andere Wildbach in Thätigkeit tritt, sondern infolge abnormer meteorologischer Vorgänge in kurzer Zeit über ein großes Gebiet außerordentliche Regenmengen fallen. Von allen Seiten brechen aus den Schluchten und Thälern die Schlamm- und Wasserfluten hervor, die Flüsse der Hauptthäler selbst schwellen dann gewaltig an, überschwemmen, unterwaschen ihre Ufer und überschütten weite Flächen fruchtbaren Landes mit sterilem Schutt. Solche Verhältnisse waren es, die z. B. im Herbste 1882 die furchtbare Katastrophe über Südtirol, Kärnten und die venezianischen Alpengebiete herbeiführten. Das ganze Wassergebiet der Drau, der Gail, der Rienz, des Eisack, der Etsch, der Sarca, Brenta und Boite wurde verwüstet; in Kärnten und Tirol kamen 53 Menschen in den Schlammfluten um, und der Schade an vernichteten Werten wird auf 25 Millionen Gulden angeschlagen; auf italienischem Gebiet dürften annähernd ebenso große Verluste zu beklagen sein.

Wir wollen die einzelnen Beschädigungen bei diesen und ähnlichen Katastrophen nicht weiter verfolgen. Wir beklagen die Opfer, die der entfesselten Naturgewalt zum Opfer fielen, wir bedauern die Unglücklichen, deren Häuser von der Schlammflut zerstört wurden; aber trotzdem können wir uns der Überzeugung nicht verschließen, daß die schlimmsten Folgen, die nachhaltigsten und traurigsten Wirkungen, in der Verschüttung der Felder, in der *Verwüstung des Bodens* liegen, der vor kurzem noch reiche Nahrung bot und nun in eine steinige Schuttwüste verwandelt ist. Hier wirken nicht nur die wildesten Murbrüche, sondern unausgesetzt geht der Prozeß vor sich, durch den der Schutt aus den Hochregionen herabgeführt und über die fruchtbaren Kulturstrecken der Thäler ausgebreitet wird. Immer mehr greifen die kahlen Schottermassen um sich und engen den Raum ein, dessen Erzeugnisse die Einwohnerschaft ernähren sollen. Die ohnehin im Verhältnis zur Ertragsfähigkeit des Bodens zum Teil übervölkerten Alpenländer verlieren von Jahr zu Jahr an Leistungsfähigkeit. Wer die Gegenden nicht näher kennt, ist in der Regel geneigt, die Bedeutung dieser Übel zu unterschätzen, er ahnt nicht, wie riesige Dimensionen sie annehmen. Allerdings sind nicht alle Teile der Alpen in gleicher Weise heimgesucht. Am schlimmsten sind die Verheerungen in dem französischen Teile, in den Departements der Hautes- und Basses-Alpes und der Alpes maritimes; Jahr um Jahr geht die Bevölkerung zurück, und man nimmt an, daß die Oberprovence in der Zeit vom 15. bis zum 18. Jahrhundert die Hälfte ihres kulturfähigen Bodens verloren habe. In der kurzen Zeit von 1842—52 allein soll nach einer allerdings fast nicht glaublichen Angabe ein volles Viertel des Kulturlandes unrettbar verwüstet worden sein.

Man wird sehr natürlich einwenden, wie es denn bei einer so furchtbar energischen Wirksamkeit der Wildbäche komme, daß nicht schon längst alle Thalgründe vermurt seien. In der That waren in früherer Zeit die Verwüstungen bei weitem nicht so groß und gefährlich wie heute; sie haben erst durch die unsinnige Abholzung der Wälder in so gewaltigem Maße zugenommen. Wenn man aber bisweilen hört, die *Entwaldung sei die Ursache* des Auftretens von Wildbächen und Murbrüchen, so ist diese Angabe nicht buchstäblich zu nehmen. In der Region zwischen dem oberen Rande der Wälder und der unteren Grenze der Schneefelder können sich immer Sammelbecken ausbilden, und bei überaus heftigen Regengüssen, die an manchen Punkten der Alpen schon über 250 mm Wasser in 24 Stunden ergeben haben, Schlammströme ergießen. Wolkenbrüche, wie sie im Jahre 1882 in den Südalpen niedergegangen sind, werden unter allen

Umständen üble Folgen haben und Felder und Wiesen mit Geröll verschütten; es handelt sich nur um die Größe und um die Häufigkeit dieser Erscheinungen, und darauf hat unbestritten der Waldwuchs den weitgehendsten Einfluß. Der Wald „bindet" den Boden und hindert die Abschwemmung loser Massen, er vermindert die Verwitterung des darunter liegenden Gesteins und hemmt den raschen Abfluß des Wassers, das in großer Menge aufgesogen wird. So kommt es, daß sich im Waldgebiet keine Sammelbecken ausbilden können. Wird aber der Forst gelichtet, dann erweitern sich die Sammelbecken, und kein Widerstand setzt sich dem Murbruch mehr entgegen, denn die Grasnarbe der Alpenweiden bietet nur einen sehr unvollkommenen Schutz. Aber nicht nur die Waldverwüstung ist in hohem Grade verderblich; oberhalb der Region der Hochstämme sind die Abhänge von dem oft undurchdringlich verflochtenen, zähen Gestrüppe der Legföhren bewachsen, oder die buschigen Polster der Alpenrosen und Vaccinien überziehen die Böschungen und bieten eine treffliche Abwehr gegen wild abstürzende Wasserfluten. Es ist ganz überraschend, welch außerordentliche Mengen von Flüssigkeit namentlich die zwischen den Alpenrosen üppig wuchernden Moosrasen aufsaugen. Allein auch dieser Vegetationsform ist der Krieg erklärt, sie muß fallen, um eine Ausdehnung der Alpenweiden zu ermöglichen, und damit ist weiterer Raum für die Murbildung gewonnen.

Das drohende Überhandnehmen und die verderbliche Ausbreitung der Wildbäche müssen unbedingt dieser Ursache, der leichtfertigen Vernichtung der natürlichen Schutzwehren um eines raschen Gewinnes willen, zugeschrieben werden. „Wo der Wald fällt, fangen die Murbrüche an", sagt ein ausgezeichneter Kenner dieser Verhältnisse, und aus allen Teilen der Alpen lassen sich zahllose Beispiele für die Richtigkeit dieses Ausspruches anführen. Die bayrischen Berge, in denen eine sehr ausgebildete Forstkultur herrscht und der Wald in der sorgsamsten Weise geschont wird, haben nur wenig von Wildbächen zu leiden; in den französischen Alpen, wo die Entholzung am weitesten vorgeschritten ist, haben die Verwüstungen den höchsten Grad erreicht, so daß im Jahre 1853 der Präfekt Bouvilles in einem amtlichen Berichte sagen konnte: „Wenn nicht energische Maßregeln getroffen werden, so kann man die Zeit vorhersagen, wo die französischen Alpen eine Wüste sein werden und Frankreich ein Departement weniger zählt."

Schon vor 500 Jahren hatte man die schlimmen Folgen der Waldverwüstung eingesehen; die Benediktinermönche von Embrun im Briançonnais z. B. belegten jeden Forstfrevler mit dem Kirchenbann. Aber von der Erkenntnis der Ursachen bis zur Ergreifung der als notwendig erkannten Hilfsmittel ist ein weiter Weg, namentlich dann, wenn sie Verzicht auf momentanen Vorteil zu gunsten der Zukunft, Aufopferung des Einzelnen für die Gesamtheit und das Brechen mit althergebrachten Gewohnheiten fordern. *Bändigung der Wildbäche durch Thalsperren und Aufforstung der entwaldeten Berge*, das sind die beiden Mittel, die zwar nicht alle Schäden heilen, aber sie doch wesentlich zu mindern im stande sind. Allerdings müssen sie streng planmäßig und im größten Maßstab angewandt werden, wenn sie nützen sollen. Insbesondere ist die Anlage von Thalsperren ein sehr zweischneidiges Mittel, das, in unrichtiger Weise angewandt, nicht nur keine Abhilfe bringt, sondern sogar das Übel noch in hohem Grade steigern kann. *Heim* sagt ganz richtig: „Eine schlechte Sperre ist schlechter als gar keine." Ist sie an ungünstiger Stelle angelegt oder ungenügend ausgeführt, so bricht sie zwar eine Zeitlang die Gewalt kleinerer Fluten; aber bei einer großen Katastrophe wird sie überwältigt und hat dann einfach die Wirkung, eine große und höchst gefährliche Stauung hervorgebracht zu haben, nach deren Überwindung der Wildbach mit verdoppelter Wut hervorbricht. So wurde Ragaz im vorigen Jahrhundert durch den Bruch einer Sperre in der Tamina plötzlich 4—5 m hoch überschüttet. Ja, selbst wenn der Bau gut und regelrecht ist, bleibt es doch immer bedenklich, einer einzigen Sperre alles anzuvertrauen, wie das z. B. bei der Verbauung des Ferfinathales

bei Trient der Fall ist. Die Fersina, einer der gefährlichsten Wildbäche in ganz Tirol, mündet unmittelbar bei Trient von Osten her in das Etschthal und bedroht die Stadt und ihre herrlich fruchtbare Umgebung mit ihren Schuttmassen. Zum Schutze ist im 16. Jahrhundert eine mächtige Thalsperre bei Pontalto im Fersinathal angelegt worden, die verschiedene Male weiter aufgebaut wurde und jetzt eine Höhe von 35 m hat; aber obwohl sie im Jahre 1883 um 1 m erhöht wurde, liegt der abgelagerte Schutt nur etwa $1^1/_2$ m unter ihrer Krone. In früheren Jahrhunderten ist sie viermal eingestürzt, jedesmal unter großen Verwüstungen der thalabwärts gelegenen Gegenden.

Verbauung eines Wildbaches in den französischen Alpen durch gemauerte und lebende Thalsperren. (Nach A. von Seckendorf.)

Man hat in neuerer Zeit ein rationelleres Mittel gewählt, das Übel an der Wurzel anzugreifen, das heißt die Wildbäche nicht erst weit unten in ihrem Tobel zu verbauen, sondern die Arbeiten hoch oben im Sammelgebiet zu beginnen. Zwar sind manche verdienstliche Leistungen solcher Art aus früherer Zeit zu nennen, aber in großartigem Maßstab, in ganz konsequenter Weise und dafür auch mit gutem Erfolg ist man erst in neuerer Zeit in den französischen Alpen und Pyrenäen zu Werke gegangen, und die dortigen Leistungen dienen jetzt als Muster für alle anderen Unternehmungen (s. obenstehende Abbildung). Bis in die obersten Teile der Runsen und in allen Verzweigungen werden gemauerte Thalsperren angelegt, die die Aufgabe haben, das Gefälle des Wassers zu brechen und das Geröll zurückzuhalten, und zwischen ihnen werden zahlreiche kleinere, „lebende" Sperren angebracht, indem man quer durch das Bett Stränge von Flechtwerk aus Zweigen zieht, die wieder ausschlagen und eine Bestockung mit Sträuchern hervorbringen; ebensolche Faschinenlagen werden auch längs des Baches an den Gehängen angebracht. Hand in Hand damit muß die Aufforstung des ganzen Gebietes gehen.

Die furchtbaren Katastrophen des Jahres 1882 haben dazu angeregt, auch in anderen Alpenbezirken die Verbauung und Aufforstung energisch in Angriff zu nehmen, und namentlich in Südtirol und Kärnten werden Anstrengungen in dieser Richtung gemacht. Wird das begonnene Werk planmäßig und mit Energie fortgesetzt, so darf man hoffen, daß die Zahl der Murbrüche vermindert, die Verschüttung des Bodens hintangehalten und verlangsamt wird. Die angewandten Maßregeln als ein Universalmittel anzusehen und zu glauben, daß die Wildbachschäden ganz aufhören werden, wäre thörichte Träumerei; Wolkenbrüche werden immer verheerende Wirkungen haben, Schutt wird immer zur Tiefe strömen, man kann das Übel nicht heben, aber man kann es vermindern und erträglich machen.

Thalbildung.

Wie für das Auftreten von Wildbächen, so ist ganz allgemein für eine intensive Erosion durch fließendes Wasser das Vorhandensein eines bedeutenden Gefälles erforderlich; nur wo dieses vorhanden ist und das Wasser infolgedessen rasch fließt, ist es im stande, feste Bestandteile nicht nur mit sich zu führen, sondern sie auch mit solcher Kraft an dem anstehenden Gesteine zu reiben, daß dieses angegriffen wird. Das mit Sand und Geröllen beladene Wasser schneidet senkrecht in die Unterlage ein, es wirkt nach dem gewöhnlichen Ausdruck wie eine Säge, deren Zähne von den mitgeschleppten festen Körpern gebildet werden. Die Intensität dieses Vorganges ist eine große, so daß unter sehr günstigen Verhältnissen die Austiefung einer Rinne verhältnismäßig schnell vor sich geht. Ein bekanntes Beispiel hierfür bildet der Fluß Simeto in Sizilien, dessen Lauf im Jahre 1603 durch einen Lavastrom des Ätna abgedämmt worden war, der sich aber seither durch diese Barre ein Bett von 16 bis über 35 m Tiefe und 12—16 m Breite genagt hat. Allerdings ist die Bestimmung des Ausbruchsdatums nicht absolut sicher, aber jedenfalls handelt es sich um einen jungen Lavastrom, der nur unvollkommen mit Vegetation bekleidet ist. Noch weit auffallender sind die Berichte aus hydraulischen Goldwerken Kaliforniens, die wir Dutton verdanken. Um das Gold auszuwaschen, das fein verteilt in mächtigen Geröllmassen vorkommt, werden Bäche aus höher gelegenem Terrain in geschlossenen Leitungen hergeführt. Dieses Wasser, das mit außerordentlich hohem Druck ankommt, läßt man mit voller Gewalt gegen die Geröllmassen anprallen, die dadurch unterwaschen und umgewühlt werden; das Gold wird ausgeschlämmt, das Gebiet aber, das auf diese Weise ausgebeutet worden ist, bleibt als wüstes Schuttfeld zurück. Das von der hydraulischen Arbeit abfließende Wasser reißt nun Geröll und Sand mit riesiger Gewalt fort und wirkt äußerst heftig erodierend, so daß in manchen Fällen in Jahresfrist eine 3—6 m tiefe Rinne in festen Basalt eingeschnitten wurde. Im Sommer 1714 wurde die Kander, die bis dahin unterhalb des Thuner Sees in die Aare gemündet hatte, durch einen Tunnel in den See abgeleitet, aber schon nach wenigen Wochen war aus dem Tunnel eine wilde Schlucht geworden, und täglich beförderte der Fluß fast 40,000 cbm Gesteins in den See. Natürlich dürfen so extreme Fälle nicht als Regel betrachtet werden, aber sie zeigen uns, was die Flußerosion unter ausnahmsweise günstigen Verhältnissen zu leisten vermag. Bei abnehmendem Gefälle wird der Fluß zwar noch im stande sein, zu transportieren, aber nicht, eine Ausnagung vorzunehmen, und bei noch geringerer Neigung vermag er auch nicht mehr die festen Teile weiterzuschaffen, er läßt sie fallen und beginnt eine ablagernde Thätigkeit.

Eine ungefähre Vorstellung von dem Einfluß des Gefälles und der Schnelligkeit des Wassers wird am besten durch einige Zahlen gegeben. Stevenson gibt folgende Tabelle über die Transportfähigkeit des Wassers bei verschiedener Beschleunigung seiner Bewegung:

Weg des Wassers in einer Sekunde	Weg des Wassers in einer Stunde	Transportfähigkeit des Wassers bei der angegebenen Beschleunigung
7,5 cm	0,27 km	fängt eben an, den feinsten Schlamm aufzuwühlen
15 "	0,54 "	führt den feinsten Sand
20 "	0,72 "	führt Sandkörner so groß wie Leinsamen
30 "	1,08 "	führt ganz feinen Kies
60 "	2,16 "	führt Gerölle von 1,5 cm Durchmesser am Boden mit
90 "	3,24 "	schwemmt eigroße, eckige Steine am Boden mit.

Den Einfluß des Gefällwinkels zeigen uns unter anderem die Zusammenstellungen von Elie de Beaumont, aus denen wir sehen, wie außerordentlich geringer Neigung es bedarf, eine sehr lebhafte Strömung hervorzurufen. Ein Gefälle von $^1/_2$ cm auf das Kilometer oder eine Neigung von 10 Sekunden erzeugt allerdings bloß eine Bewegung des Wassers, die wir nur an der Ortsveränderung schwimmender Körper bemerken; aber schon bei einem Gefälle von 3,5 Minuten oder etwa 10 cm ist die Grenze der Schiffbarkeit erreicht. Bei 30 Minuten Neigung werden Gerölle bis zu Kopfgröße, bei $1^1/_2$ Grad werden $^2/_3$ m große Blöcke gerollt, und bei einer Neigung von mehr als 5 Grad hört der Fluß oder Bach auf, eine zusammenhängende Masse zu bilden, er löst sich in einzelne Wasserfälle und kleine Stürze auf.

Wenn man jedoch derartige Angaben und namentlich die Daten über Transportfähigkeit bei einer gewissen Schnelligkeit der Wasserbewegung zum Ausgangspunkt für weitere Folgerungen machen will, so muß man darauf Rücksicht nehmen, daß sich in einem und demselben Querprofil eines Flusses die Wasserteile an verschiedenen Stellen mit verschiedener Geschwindigkeit bewegen. Die Reibung des Wassers, namentlich am Grunde und an den Ufern, in geringerem Maße aber auch an der Luft, bringt eine Verzögerung hervor; die Stelle, wo das Wasser die größte Geschwindigkeit erreicht, der sogenannte Stromstrich, befindet sich über der größten Wassertiefe etwas unter der Oberfläche und nimmt von da nach dem Grunde wie nach den Rändern und nach dem Spiegel zu gesetzmäßig ab. Da jedoch die Verzögerung durch die Reibung am Boden eine sehr viel größere ist als die durch die Luftreibung, so muß natürlich die stärkste Beschleunigung nicht sehr weit unter der Oberfläche liegen, und sie scheint dieser in sehr breiten und seichten Flüssen so nahe zu sein, daß bei solchen der Nachweis einer anfänglichen Zunahme der Schnelligkeit mit der Tiefe nicht gelingt, sondern vom Spiegel bis zum Grunde eine fortwährende Abnahme stattfindet. Für den Transport fester Teile ist natürlich nicht die Geschwindigkeit im Stromstrich entscheidend, sondern die am Boden des Flusses, denn die schwereren und für die Tragkraft schon verhältnismäßig bedeutenden Fragmente werden nicht mehr schwebend erhalten, sondern am Grunde fortgerollt.

Als ein normaler Fluß ist ein solcher zu betrachten, der in einem Gebirge entspringt und hier in raschem Laufe einem stark geneigten Bette folgt, dann in ein niedrigeres, in der Regel hügeliges Land eintritt, das er mit verminderter Geschwindigkeit durchschneidet, worauf er endlich träge durch eine Tiefebene bis zu seiner Mündung hinschleicht. Ein solcher Fluß wird anfangs im Oberlauf erodierend und transportierend wirken, im Mittellauf das Material fortschleppen, ohne jedoch sein Bett mehr auszutiefen, im Unterlauf endlich Sediment ablagern und sein Bett ständig erhöhen. Dies mag uns ein ungefähres Bild von den drei Hauptstadien geben, die ein Strom durchläuft; es wäre aber natürlich sehr unrichtig, wenn man das buchstäblich nehmen wollte. Es wäre richtiger, zu sagen, daß im Oberlauf die Erosion, im Unterlauf die Ablagerung überwiegt, im Mittellauf dagegen sich beide das Gleichgewicht halten. Auch der wild dahinstürmende Alpenbach, der in großartigem Maßstab zerstört und Material zu Thale fördert, lagert einen Teil der groben Blöcke und Steine ab, wo sich in seinem stark geneigten Laufe eine

flachere Thalſtufe einſchiebt. Viele Flüſſe durchſchneiden in ihrem Unterlauf, nachdem ſie vorher ſchon auf längeren Strecken abgelagert haben, eine ſich quer vorſchiebende Gebirgsbarre, es bilden ſich hier Stromſchnellen und Katarakte, über die ſich die vorher trägen Waſſermaſſen brauſend und ſchäumend ergießen, und es ſchiebt ſich hier plötzlich ein Stück eroſiver Thätigkeit ein. So paſſiert die Donau zwiſchen Bazias im Banat und Turn-Severin in Rumänien eine bedeutende Gebirgszone in einer Reihe von Katarakten und Stromſchnellen, unter denen die des Eiſernen Thores die bedeutendſten ſind; der Nil, der Kongo, der Sambeſi, der Niger in Afrika, der Orinoko in Südamerika ſind bekannte Beiſpiele ſolcher Erſcheinungen.

Andere Flüſſe, und unter ihnen manche ſehr bedeutende, entſpringen überhaupt in gar keinem Gebirge; die Wolga, der Weiße Nil, der Kongo gehören hierher. Endlich bildet die Einſchiebung eines Sees in einen Flußlauf eine Epiſode, die eine weſentliche Änderung des Verhaltens bedingt; es bleiben in dem See alle feſten Teile zurück, und dem Waſſer fehlt daher bei ſeinem Austritt das weſentlichſte Werkzeug der Eroſion. Solche Binnenſeen ſind jedoch nur verhältnismäßig kurz dauernde Erſcheinungen in der Geſchichte eines Flußthales, ſie werden in einer, geologiſch geſprochen, kurzen Zeit durch die einmündenden Bäche und Ströme mit Sediment ausgefüllt und bilden dann nur noch flache, oft ſumpfige Thalweitungen.

Jedenfalls ſehen wir eine Menge Abweichungen von dem als Regel gedachten Schema des Verlaufes eines Fluſſes; wir müſſen uns ſtets daran erinnern, daß die Natur hier wie überall eine außerordentliche Mannigfaltigkeit der Erſcheinungen bietet und nicht nach einer Schablone arbeitet. Immerhin aber können wir die Dreiteilung: erodierenden Oberlauf, transportierenden Mittellauf und ablagernden Unterlauf, als in den großen Hauptzügen richtig, einer theoretiſchen Betrachtung der Thalbildung zu Grunde legen. Als das Reſultat dieſer Dreiteilung können wir ganz allgemein eine Verminderung der Niveau-Unterſchiede, eine Ausgleichung des Gefälles, die Herſtellung eines ſehr gleichmäßig geneigten Thalweges bezeichnen, der keinen raſchen Wechſel im Gefälle beſitzt, ſondern eine von der Mündung bis zum Urſprung überaus ſanft anſteigende, paraboliſche Kurve bildet. Bis dieſes Ziel erreicht iſt, bis der Thalweg „fertig“ iſt, behält zwar der Mittellauf ſein Niveau bei, der Oberlauf aber ſchneidet ſein Bett immer tiefer ein, der Unterlauf erhöht es durch ſtete Ablagerung. Wie energiſch ſich dieſer letztere, häufig unterſchätzte Vorgang abſpielt, zeigen uns die Fälle, in denen ſich der Fluß mitten in einer ganz flachen Ebene ein wallartig erhabenes Bett erbaut hat. Ein ſehr bekanntes Beiſpiel dieſer Art iſt der Po, deſſen mächtige Geröllufer ſich aus der umgebenden Niederung emporbauen, und deſſen Spiegel faſt 1 m höher liegt als die Straßen von Ferrara.

Das bezeichnendſte Merkmal eines unfertigen Thales iſt das Auftreten von Waſſerfällen, in denen der Fluß oder Bach über den annähernd ſenkrechten Abſturz einer Terrainſtufe herabfällt, deren gleichmäßige Eroſion noch nicht hat vollendet werden können. An dieſen Stellen, wo die Waſſermaſſe ſenkrecht herabkommt, alſo mit dem denkbar ſtärkſten Gefälle, findet eine ſehr ausgiebige Zerſtörung und zwar vorwiegend in der Weiſe ſtatt, daß am Fuße des Falles durch das Aufprallen der mit Steinen und Sand herabſtürzenden Flut die Sohle des Bettes ſtark angegriffen und dabei auch die Baſis des Abſturzes unterwaſchen wird, bis deſſen vorderſter Teil niederbricht. Der Waſſerfall bleibt daher nicht an einer Stelle, ſondern er wird im Verlauf längerer Zeit immer weiter thalaufwärts verſchoben und verliert dabei an Höhe, bis endlich die Niveauverſchiedenheit zwiſchen den beiden Thalſtufen ausgeglichen iſt.

Ein ſehr bekanntes und genau unterſuchtes Beiſpiel dieſer Erſcheinung iſt der Niagarafall, in welchem die gewaltigen vom Erie- zum Ontarioſee abfließenden Waſſermaſſen über eine faſt 50 m hohe, ſenkrechte Stufe herabſtürzen, die aus horizontal geſchichteten Bänken oberſiluriſcher Ablagerungen zuſammengeſetzt iſt. Die Kante des Waſſerfalles und der obere Teil der Wand

bestehen aus harten Kalken, die tieferen Partien aus viel weicheren Schiefern und Sandsteinen, und natürlich können unter diesen Verhältnissen die Unterwaschung und der Einsturz sehr leicht und regelmäßig vor sich gehen. Thalabwärts zieht sich von dem Falle eine 12 km lange Schlucht mit senkrechten Wänden, die durch den Wasserfall allmählich ausgenagt worden ist. Man erhält unter der Annahme, daß der jährliche Rückgang ungefähr 33 cm betrage, und daß die Erosion fortwährend mit derselben Kraft gearbeitet habe wie heute, für die Bildung dieser Schlucht einen Zeitraum von 36,000 Jahren, während unter denselben Verhältnissen in weiteren 70,000 Jahren der Fall bis an den Ausfluß des Eriesees zurückrücken und eine vollständige Ausgleichung des Niveaus erzielt sein würde. In neuerer Zeit wurde der Fall wiederholt gemessen und ein Vergleich mit der ersten genauen Messung aus dem Jahre 1842 vorgenommen. In den 48 Jahren, zwischen 1842 und 1890, sind auf der amerikanischen Seite des Falles 3060 qm, auf der kanadischen 25,610 qm Landes verschwunden; der jährliche Rückgang betrug auf der ersteren Seite des Falles durchschnittlich 0,195 m, auf der letzteren 0,663 m. Unter Berücksichtigung aller Verhältnisse wird auf Grund dieser Zahlen angenommen, daß der Fall nur 7000 Jahre dazu gebraucht hat, den Weg von der Mündung in den Ontariosee bis zu der jetzigen Stelle zurückzulegen.

Eine eigentümliche Erscheinung, die an manchen wasserreichen Fällen beobachtet wird, ist das Auftreten sogenannter Riesentöpfe oder Strudellöcher. Dies sind mehr oder weniger tiefe, senkrecht in festes Gestein, Kalk, Granit ꝛc., oder auch in weichere Massen, Thone, Blocklehm und ähnliche Gebilde, eingetiefte cylindrische Löcher, die unter Umständen bis zu einer Tiefe von 12 m schachtartig in die festesten Felsen eindringen; die Innenwände sind in der Regel glatt geschliffen und tragen bisweilen Spuren von Spiralfurchen. Diese Vertiefungen sind dadurch entstanden, daß Felsblöcke durch die Bewegung des Wassers von Wasserfällen oder Kataraкten in kreisförmig wirbelnder Bewegung erhalten werden; durch die Reibung wird das Bett des Flusses angegriffen, und indem diese Rotation in einer und derselben Höhlung unausgesetzt vor sich geht, wird das Loch immer mehr vertieft. Man findet auch in der Regel noch die Blöcke, deren Bewegungen dieses Resultat erzielt haben, die „Reibsteine", am Grunde der Töpfe, wenn sie nicht durch die Abnutzung zu Atomen zermalmt worden sind. In dem sehr trockenen Sommer des Jahres 1857, als der Rhein bei Schaffhausen einen außergewöhnlich niederen Wasserstand hatte, fand man die Felsplatten am Fuße des Rheinfalles mit einer Menge solcher Strudellöcher besetzt. In den Klammen der Salzach bei Golling finden sich ausgezeichnete Beispiele, die sogenannten „Öfen", nicht nur in der Thalsohle im Bett des Flusses, sondern auch in der Höhe; an den Wänden sieht man durch die Erosion auseinander geschnittene Riesentöpfe, von Wasserfällen herrührend, die dort in der Vorzeit vorhanden waren, als der Fluß noch in einem höheren Niveau dahineilte als heute.

Auch sonst findet man oft Riesentöpfe aus früherer Zeit von Wasserläufen, die nicht mehr existieren; besonders in Skandinavien sind sie in großer Zahl vorhanden, aber auch in der norddeutschen Tiefebene kommen sie nicht allzu selten vor, so z. B. an der Oberfläche des Muschelkalkes von Rüdersdorf bei Berlin. Ein prachtvolles Beispiel bietet der sogenannte Gletschergarten von Luzern, wo die rundhöckerige Gesteinsoberfläche eine große Anzahl solcher Kessel enthält (s. Abbildung, S. 480). Diese alten Töpfe sind in späterer Zeit mit Schutt, Sand, Lehm, Gesteinstrümmern ausgefüllt worden, und man muß sie ausräumen, wenn man ein Bild von ihrer Beschaffenheit erhalten und die an ihrer abgerundeten Form leicht kenntlichen Reibsteine finden will. Der größte Teil dieser alten Töpfe liegt im ehemaligen Gletscherterrain, und es ist daher der Zusammenhang ihrer Entstehung mit den Schmelzwassern der Gletscher vielfach besprochen worden, eine Frage, auf die wir noch bei der Schilderung der Glazialerscheinungen zurückkommen werden.

Aber nicht bloß das ſenkrecht auffallende, ſondern auch das ſtrömende Waſſer kann im Flußbett Aushöhlungen erzeugen, die die ſonſtige Tiefe des Fluſſes bedeutend übertreffen. Wenn das Waſſer durch die Begegnung zweier Strömungen in eine drehende und nach abwärts ſchraubenförmig bohrende Bewegung verſetzt wird, entſtehen keſſelförmige Vertiefungen im Flußbett, die man als Wirbelkolke bezeichnet. Auch da, wo die Geſchwindigkeit des Waſſers infolge ſtärkeren Bodengefälles oder infolge von Aufſtauung der Waſſermaſſe durch eine plötzliche Verengerung des Bettes lokal beſchleunigt iſt, greifen die Flüſſe ihr Bett in erhöhtem Maße an, und es bilden ſich Strömungs- und Staukolke. Dieſe Aushöhlungen haben namentlich bei Stromregulierungen

Strudellöcher im Gletſchergarten von Luzern. Vgl. Text, S. 479.

die Aufmerkſamkeit auf ſich gezogen, ſo hat man z. B. bei der Wiener Donauregulierung Staukolke von Tiefen bis 14 und 18 m bei einer durchſchnittlichen Stromtiefe von $2^1/_2$—3 m beobachtet. Bei der Rheinkorrektion in Baden fand man 20—30 m tiefe Aushöhlungen; bei Grein, in der Gegend des bekannten Greiner Strudels, hat die Donau bis zu 30 m, in der Enge des Eiſernen Thors bis zu mehr als 50 m tief gekolkt.

Am auffallendſten und mächtigſten treten jedenfalls die Unfertigkeit des Thalweges und das Beſtreben der Waſſer, ihn zu vollenden, im Gebirge da hervor, wo die Eroſion in den Regionen ſtarken Gefälles wirkſam iſt. Denken wir uns ein gleichmäßig geneigtes Gehänge, von dem das Waſſer abläuft, ſo wird in ſeinem oberſten Teile die Wirkung eine ſchwache ſein, da das Waſſer hier noch in einzelnen ſehr ſchwachen Fäden rinnt und noch wenig Sand und Gerölle fortführen kann, die vorwiegend auf die Unterlage wirken. Erſt in den tieferen Partien des Abhanges, wo ſich die einzelnen Waſſeradern vereinigen und dadurch konzentrierte Kraft auf einen beſchränkten Raum verwenden können, wird die Austiefung eine ergiebigere ſein, hier wird ſich die

Die Lichtensteinklamm bei St. Johann im Pongau. (Nach Photographie.) Vgl. Text, S. 482.

Thalbildung in energiſcher Weiſe entwickeln. Es wird ſich ein Thal in das Gehänge einſchneiden, deſſen untere Hälfte ſchwächer, die obere ſtärker geneigt iſt als das Gehänge, und im Laufe der Zeit wird ſich ſowohl das Thal als die Grenze zwiſchen dem ſteilen und dem weniger geneigten Teile mehr und mehr nach aufwärts ziehen, die Thalbildung wird endlich bis zum Kamm der

Höhe gelangen und diese erniedrigen. Dabei wird in dem oberen, stark geneigten Teile des Thales die Erosion ganz vorwiegend in die Tiefe schneiden, in dem weniger geneigten Abschnitt dagegen wesentlich auf die Thalwände wirken; das Thal wird breiter, während in seinem Grunde der gröbste Schutt liegen bleibt, der von oben kommt. Der Querschnitt des Thales ist daher in den höheren, in raschem Einschneiden begriffenen Partien annähernd V-förmig, in den unteren, sich ausweitenden Strichen dagegen mehr oder weniger breit U-förmig. Allerdings neigen diese typischen Gestalten sehr zur Ausartung, zu extremer Entwickelung, das U wird sehr flach und breit, während da, wo ein kräftiger Wasserlauf mit sehr wenigen Zuflüssen eine bedeutende Niveaudifferenz auszugleichen hat, die Gestalt des V immer schmäler wird, zur engen, spaltartigen Schlucht, die mit fast senkrechten Wänden einschneidet. Die „Klammen" der Alpen und alpenähnlichen Gebirge sind die Typen solcher Bildungen, die am häufigsten im Kalkgebirge, aber auch in Schiefern und Sandsteinen vorkommen (s. Abbildung, S. 481).

Die Arbeit der Flüsse besteht also, wie wir gesehen haben, wesentlich in der Ausgleichung und Vertiefung der Abflußrinne, in der Erweiterung des Thales nach seitwärts und rückwärts, und in der Erniedrigung der Wasserscheide. Über die Art und Weise der letzteren Thätigkeit müssen wir noch einige Worte hinzufügen. Wenn die Vertiefung des Flußbettes bis zur Wasserscheide gedrungen ist, dann wird diese gleichsam unterminiert. Dies ist besonders dann der Fall, wenn der Fluß aus einem oder mehreren starken Quellgängen entspringt, denn diese schaffen aus dem Inneren Gestein heraus, bis die Decke nachsinkt, und gleichzeitig wird durch die Denudation fortdauernd neues Gesteinsmaterial vom Kamm und den Gehängen zur Tiefe geführt. Auf diese Weise werden in die Wasserscheide förmliche Mulden eingeschnitten, und sie erfährt eine stete Verschiebung nach rückwärts, namentlich aber eine Erniedrigung. Die Flüsse zeigen das Bestreben, ihr Gebiet nach allen Richtungen hin auszudehnen, und da im Gebirge stets mehrere Erosionsrinnen nebeneinander angeordnet sind, entsteht unter diesen ein Kampf um den Boden und um die Wasserscheide. Das Fortarbeiten der Flüsse nach rückwärts, so langsam es auch vor sich geht, hat zunächst zur Folge, daß die Hauptwasserscheide eine zickzackförmige Gestalt annimmt. Derjenige Fluß, welcher wegen größeren Wasserreichtums, stärkeren Gefälles und geringeren Gesteinswiderstandes rascher arbeitet, vergrößert sein Gebiet auf Kosten der benachbarten Flüsse, und es kann selbst dahin kommen, daß er von der Seite her so tief in das Thal des Nachbarflusses einschneidet, daß er dessen Zuflüsse für sich erobert. Ein klares Beispiel hierfür hat A. Heim bekannt gemacht: Die vom Malojapaß nach Süden abfließende und sehr rasch arbeitende Mera ist allmählich bis zu dem nach Nordosten gerichteten Thal des schwächer erodierenden Inn gelangt, hat sich darein eingeschnitten und so das oberste Thalstück des Inn unter Rückwärtsverlegung der Wasserscheide für sich gewonnen. Die ehemaligen Quellflüsse des Inn im Val Bregaglia schwellen nun die Gewässer der Mera, und es wird verständlich, warum das oberste Innthal eine Breite annimmt, die sonst erst dem tieferen Teile eines Flußthales zukommt.

Die Erniedrigung der Wasserscheide kann unter günstigen Umständen auch das Überfließen eines Flusses in den Bereich eines anderen bewirken. A. Penck führt hierfür folgendes Beispiel an: Der unmittelbar neben dem Inn gelegene Achensee fließt nicht zu jenem ab, sondern ergießt seine Wässer quer durch die Kalkalpen zur Isar. Ursprünglich flossen die Wässer des Achenthales nach dem Inn; als aber dieser einen hohen Geschiebedamm aufgeworfen hatte, wurden die Zuflüsse zu einem See gestaut, der über die allmählich sehr erniedrigte Wasserscheide zur Isar abfloß. Auf diese Weise kann durch rückschreitende Erosion und Erniedrigung der Wasserscheide in ein benachbartes Flußsystem eine Bresche gelegt, und es können wasserscheidende Bergkämme durchschnitten werden. Manche der weiter unten noch näher zu erörternden Durchbruchsthäler mögen auf derartige Vorgänge zurückzuführen sein.

Wo in Gebirgen eine Wetterseite besteht, werden die Flüsse reichlicher gespeist und durch die größere Wassermenge befähigt, ihre Kanäle tiefer und rascher auszuhöhlen und mehr Gesteinsmaterial fortzuführen. Auf der regenreichen Seite werden daher die Gebirge stärker angefressen als auf der trockenen, und es ist dieses Verhältnis für die Beurteilung der Erosionsthätigkeit der Flüsse bisweilen von erheblicher Bedeutung.

Der Verlauf der Flüsse und die Form und Entstehung ihrer Thäler sind in mannigfaltiger Weise vom Gebirgsbau abhängig. Daß dies der Fall ist, darüber sind wohl alle Geologen und Geographen einig, in welchem Grade aber und in welcher Weise diese Abhängigkeit zu denken ist, darüber gingen die Ansichten früher sehr weit auseinander, und erst in neuerer Zeit hat sich auch auf diesem Gebiet eine Klärung der Anschauungen vollzogen. Wir haben in einem früheren Abschnitt (s. S. 353) die ältere Ansicht kennen gelernt, daß alle Gebirge plötzlich mit Einem Ruck aufgetürmt worden seien und dann als fertige Massen dagestanden hätten. Von diesem Gesichtspunkt aus betrachtet, ist es ganz klar, daß das Flußnetz von dem mit einemmal vollendet hervortretenden Bau des Bergsystems vollkommen abhängig sein muß; der Hauptkamm muß die Hauptwasserscheide bilden, die einzelnen Flußläufe müssen den starr vorgezeichneten Linien des stärksten Gefälles folgen, wenigstens die größeren werden sich entweder der Richtung von Bruchlinien und Spalten oder von Falten, mögen es nun Synklinalen oder die geborstenen Kämme von Antiklinalen sein, vollständig anschmiegen. Jene Ansicht ist jetzt längst aufgegeben, aber trotzdem kann noch immer eine weitgehende Einwirkung des Gebirgsbaues auf die Thalbildung angenommen werden. Weitaus die bedeutsamste Auffassung dieser Art ist die von Daubrée auf Grund seiner interessanten Experimentaluntersuchungen geäußerte; er untersuchte die Sprünge, die in Platten von Spiegelglas, in Blöcken von Formwachs und anderen Körpern durch Drehung und Druck entstehen, und fand, daß die Richtung der Sprünge zu der der erzeugenden Kraft bestimmte gesetzmäßige Beziehungen zeigt und Systeme bildet, die sich unter gleichbleibenden Winkeln schneiden. Es gelang ferner der Nachweis, daß manche Gesteine in ihrem Gefüge eine weit ins einzelne gehende Zerklüftung zeigen, die mit großer Wahrscheinlichkeit auf eine ähnliche Ursache zurückgeführt werden kann; ja, es ist sogar ganz plausibel, daß gewisse Absonderungs- und Verwitterungsformen, z. B. die quaderförmige Anordnung der Sandsteine in der Sächsischen Schweiz und in Böhmen, auf solche Ursachen zurückzuführen sind. Dagegen muß eine weitgehende Anwendung dieser Erfahrungen auf die Thalbildung wohl als verfehlt bezeichnet werden. Zwar gelingt es bisweilen, die Thalläufe einer Gegend auf wenige bestimmte Richtungen zurückzuführen; aber in der Regel fehlt der direkte Nachweis für das Vorhandensein der Klüfte, deren Existenz nur aus der Ähnlichkeit der Thalrichtungen mit den experimentell hergestellten Sprungnetzen gefolgert wird. Überdies kommen dabei oft komplizierte Systeme heraus, und die kleineren Verzweigungen entsprechen nicht mehr den Anforderungen der Theorie. Selbst in den Fällen, in denen sich sehr wenige Richtungen ergeben, darf daraus noch lange nicht ein entsprechendes Kluftsystem abgeleitet werden. In einer einheitlich und einfach gebauten Gegend werden durch die natürlichen Gefällsverhältnisse, durch eine wenn auch nur sehr schwache Neigung der Schichten, einzelne Hauptrichtungen für den Abfluß der Wasser bestimmt, und so erklären sich diese Erscheinungen in einfacher Weise ohne Zuhilfenahme eines Spaltensystems.

Die Abhängigkeit der Flüsse von den tektonischen Verhältnissen und der Ausbau der Thäler müssen sich naturgemäß sehr verschieden gestalten, je nachdem die Erosion im Flachland, bei wenig gestörter Lagerung der Schichten, oder im Faltengebirge erfolgt. Es werden in beiderlei Gebieten eigentümliche Thaltypen zur Ausbildung kommen, und diese müssen wir im Folgenden in Betracht ziehen.

Cañons.

Tafelländer mit nahezu horizontalen oder wenig gestörten Schichten bieten für die Thalbildung verhältnismäßig einfache Bedingungen. Eine leichte ursprüngliche Neigung der Schichten, wie sie in der Natur auf der festen Erdoberfläche wohl stets vorkommt, genügt, dem abfließenden Wasser eine gewisse Richtung vorzuschreiben; es bewegt sich in weiten, flachen Mulden, solange seine Erosionskraft gering ist. Wo aber die Tafelfläche mit einem schroffen Abbruch endet, da bewirkt starkes Gefälle eine tiefe Auswaschung des Bodens, es bildet sich eine steilwandige Schlucht, und von dieser aus schreitet die Erosion gegen das Ursprungsgebiet vor. Daher kommt es, daß die Plateauränder sehr häufig von wilden, tiefen Schluchten durchschnitten sind, während die Gewässer auf der Höhe in flachen Schwemmlandthälern fließen, wie dies in der Sächsischen Schweiz, in der Rauhen Alb, an den Rändern der südafrikanischen Tafelberge der Fall ist.

Hat aber die rückschreitende Erosion lange genug gewirkt, oder empfängt ein Tafelland einen mächtigen Strom, der in einem benachbarten wasserreichen Gebirge entspringt, dann entstehen sehr tiefe und weitverzweigte Thalschluchten. Hierfür bietet ein Beispiel die tiefe Schlucht, mit der die Elbe die sächsisch-böhmische Sandsteintafel durchsetzt. Der Nil in seinem zwischen den erhabenen Flächen der Libyschen und Arabischen Wüste eingefurchten Thal zeigt schon eine Steigerung dieser Erscheinungen, bis ins äußerste Extrem aber finden sie sich entwickelt in den seltsamen und über alle Vorstellung großartigen Einschnitten, in denen einige Flüsse des nordamerikanischen Westens die Tafelländer von Arizona, Utah und Colorado durchbrechen. Diese Cañons, wie die tiefen Schluchten von den spanischen Einwohnern genannt wurden, sind oft Hunderte von Metern in die festen Felsen eingegraben. Vor allen anderen zeichnet sich der Lauf des Rio Colorado durch die Plateaulandschaft von Arizona durch Terrainbildungen aus, die zu den wunderbarsten Erscheinungen der ganzen Erde gerechnet werden müssen. Diese bis vor kurzem schwer zugänglichen Regionen sind von Ives, Newberry und anderen untersucht worden, namentlich aber verdanken wir Dutton ein großes Werk über diese Gegenden, das nicht nur Beschreibungen gibt, sondern auch durch naturwahre Abbildungen eine annähernde Idee von dem Charakter dieser seltsamen Landschaften zu fassen gestattet.

Der Große Cañon des Rio Colorado liegt größtenteils in Arizona und reicht nur gegen Norden etwas nach Utah hinein. Sein Verlauf durchschneidet sehr hoch gelegene, in einigen Terrassen sich aufbauende Tafelländer, die teils vollständig wüst und vegetationslos, teils von reichem Waldwuchs bedeckt sind; ihre Oberfläche ist bald sehr flach, bald wellig geformt, das ganze Gefüge besteht aus nahezu horizontal gelagerten Schichten, die von dem älteren Tertiär bis ins Silur und selbst bis auf den unter dem Silur liegenden Granit hinabreichen. Das Tertiär, die mesozoischen und permischen Ablagerungen bilden eine Anzahl mächtiger, in gewaltigen Abstürzen sich aufbauender Terrassen, die eine weite, stellenweise bis zu etwa 3000 m Meereshöhe aufsteigende Fläche von Kohlenkalk der Reihe nach überragen. In die Kohlenkalkdecke ist der eigentliche Cañon eingeschnitten, und alle älteren Ablagerungen kommen nur in dieser ungeheuern, hier und da gegen 2000 m Tiefe betragenden Thalaushöhlung zum Vorschein, die ausschließlich der Erosion ihre Entstehung verdankt.

Am großartigsten ist der Einschnitt in dem sogenannten Kaibab-Plateau, von dem die Schilderung hier mitgeteilt werden mag, die Dutton von einem Einblick in diese wilden Schlünde gibt: „Wo immer man sich auf dem Kaibab-Plateau dem Cañon nähert, thut sich mit Einem Schlage der Einblick in seine Tiefen auf; nur selten bemerkt man vorher ein Anzeichen, daß man sich dem Abgrund nähert, der Wald reicht bis an den Steilrand, und die Fichten lassen ihre Zapfen in

Plateauoberfläche in der Nähe des Großen Cañon. (Nach Ives.)

die bodenlose Tiefe fallen. Schon vom äußersten Rande ist die Aussicht über alle Beschreibung großartig, aber sie bleibt weit hinter derjenigen zurück, welche sich im Herzen des Cañon eröffnet. Einen solchen Einblick gewinnt man von Point Sublime, einem weit vorspringenden Vorgebirge, das wohl vor anderen an Größe des Panoramas ausgezeichnet ist (s. die beigeheftete Tafel ‚Plateauoberfläche in der Nähe des Großen Cañon').

„Der Große Cañon bereichert unsere moderne Naturanschauung mit einem ganz neuen landschaftlichen Typus und mit neuen Vorstellungen von der Schönheit, Großartigkeit und Gewalt der Naturerscheinungen; aber wie jede Neuerung, braucht auch diese Zeit, um verstanden zu werden, man muß sie studieren und sich an sie gewöhnen, um in ihren Geist einzudringen. Dem Naturfreund, der seinen Blick in den Alpen, in Italien, Deutschland, den Appalachen ꝛc. gebildet hat, würde der Eintritt in diese merkwürdige Gegend gleichsam einen Stoß versetzen, er würde sich beengt, vielleicht zurückgestoßen und geängstigt fühlen; er sieht nichts von dem, was er als schön und erhaben zu betrachten gewohnt ist, alles muß ihm zwar staunenswert, aber bizarr und unschön vorkommen; nirgends findet er harmonische, zart abgestufte Farbentöne. Aber mit der Gewohnheit ändert sich dieser Eindruck, was zuerst hart, wild, fast brutal erschien, erweist sich nun als großartig und ausdrucksvoll, voll Kraft und Majestät, und die grellen, schreienden Farben zeigen sich allmählich doch als in hohem Grade zart, wechselnd und effektvoll. Wäre es nur die Größe der Erscheinung, welche Eindruck macht, so ließe sich die Summe in wenigen Worten zusammenfassen: der Cañon ist über 200 englische Meilen lang, 5—12 Meilen breit und 5000—6000 Fuß tief. Es gibt längere und breitere Thäler und sogar einzelne, welche tiefer sind; aber doch ist der Große Cañon das Erhabenste, was es auf Erden gibt, durch das Zusammenwirken aller Einzelheiten.

„Vom äußersten Ende von Point Sublime ist der Abstand bis zu dem nächsten Punkt der jenseitigen Uferhöhe 7 (englische) Meilen, aber die beiden Ränder sind von weiten Amphitheatern ausgebuchtet und treten daher für gewöhnlich bedeutend weiter auseinander. In das unmittelbare Gesichtsfeld, 50 Meilen lang und 12 Meilen breit, drängt sich eine ungeheure Menge von einzelnen Objekten, so riesenhaft, so majestätisch, so unendlich mannigfaltig in ihren Details, daß man sie nur allmählich faßt und aufs tiefste bewegt wird von dem erwachenden Eindruck. Unzweifelhaft tritt vor allem anderen groß und überwältigend die jenseitige Thalwand entgegen; der menschliche Geist kann sich keine Vorstellung machen von einer 1 Meile hohen Felsmauer, die, in einer Entfernung von 7 Meilen gegenüberliegend, sich rechts und links in die Unendlichkeit zu verlieren scheint. Man fühlt sich erdrückt und überwältigt; wäre es noch eine senkrechte, glatte Wand, so fände sich ein Ruhepunkt, allein überall tritt in derselben die größte Mannigfaltigkeit entgegen. Tiefe Amphitheater springen weit in das jenseitige Plateau ein, zwischen ihnen ragen mächtige Vorsprünge heraus, die in herrlichen Giebeln ausladen. So ist der Rand in eine Menge Buchten und vorspringende Ecken zerteilt, mit zahllosen Vorsprüngen, die teilweise als scharfe Sporen in die Tiefe setzen. Nur bei den unmittelbar gegenüberliegenden Amphitheatern dringt der Blick bis in den Hintergrund, aber so außerordentlich, so unglaublich wirkt die perspektivische Verkürzung, daß es unmöglich ist, sich von deren Ausdehnung ein Bild zu machen. Zahlreiche losgelöste Massen schließen sich an die Vorsprünge an, gigantische Pfeiler, die aber trotz ihrer Größe erdrückt werden von der ungeheuern Masse der gegenüberliegenden Wand (s. Abbildung, S. 486). Nur wenig minder machtvollen Eindruck als diese selbst machen die unmittelbar benachbarten Pfeiler auf der eignen Uferseite, welche eine Schönheit der Formen, eine Großartigkeit und dabei eine mannigfaltige Zerrissenheit zeigen, welche jeder Beschreibung spottet."

Übrigens stürzt der Abhang des Cañon nicht in einer Flucht bis in die volle Tiefe hinab; nur bei einzelnen weit hinausragenden Vorgebirgen hat man auf einmal den ganzen Anblick

Seitenpfeiler des Großen Cañon vom Rio Colorado in Nordamerika. (Nach Ives.) Vgl. Text, S. 485.

eines 1500—1800 m tiefen Abgrundes. Im allgemeinen fällt das Gehänge zunächst 600—900 m tief ab, und unter diesem ersten Absatz breitet sich eine zwar unebene, aber im Vergleich mit den dominierenden Wänden flache Terrasse aus, in die dann erst die innere, weit engere Schlucht eingeschnitten ist. Wir ersehen daraus, wie durch jede Flußterrasse eine Pause, ein Stillstand in der Austiefung gegeben ist, an dessen Ende erst die tiefste Schlucht gebildet wurde.

Die höchst merkwürdigen Erscheinungen dieses enormen Flußthales, das in ein sehr flaches und gleichmäßiges Plateau eingefurcht ist, können nur auf eine Weise erklärt werden: durch das Einschneiden eines wasserreichen, reißenden, zahlreiche Gerölle und Sand führenden Stromes, der, aus feuchtem, regenreichem Hochgebirge kommend, über ein trockenes, wasserloses Tafelland fließt. Das sind die Verhältnisse von heute, aber sie müssen während der ganzen Dauer der Cañonbildung dieselben gewesen sein, denn sonst müßte man von beiden Seiten eine Menge tief einschneidender Nebenthäler in den Hauptcañon münden sehen. In Wirklichkeit sind aber deren kaum zwei oder drei von Bedeutung vorhanden; wir müssen daher annehmen, daß die ganze Austiefung des Cañon unter ähnlichen Verhältnissen stattgefünden hat, wie sie heute herrschen. Allerdings hat sich eine Episode, eine vorübergehende Zeit reichen Niederschlages auch für die Plateauregion eingeschoben. Dutton hat gezeigt, daß die Bildung des Cañon in dem letzten Abschnitt der Tertiärformation, in der Pliocänzeit, begonnen hat, die gleich der jetzigen ein trockenes Klima hatte; zwischen beiden aber liegt die Eiszeit, die zwar im Coloradogebiet keine Gletscher brachte, jedenfalls aber kühler und feuchter war als die vorhergehende und nachfolgende Periode. Und wenn sie auch verhältnismäßig wenig Spuren hinterlassen hat, so scheint es doch, als müßten einige Anlagen von Seitencañons, die sich hoch oben an den Gehängen zeigen und offenbar nur während verhältnismäßig kurzer Zeit Wasser enthielten, auf ihre Wirkung zurückgeführt werden.

Wir können hier nicht weiter auf die noch in vieler Beziehung interessanten Verhältnisse der Cañonregion eingehen; sie zeigt uns an einem extremen, wunderbar ausgebildeten Beispiel, welche Wirkung ein Strom mit starkem Gefälle auf eine trockene Hochebene ausübt. Aber noch weit wichtiger und instruktiver ist es, was uns dieser Fall in Beziehung auf die ungeheure Länge der geologischen Zeiträume lehrt. Ungefähr seit dem Beginn der Pliocänzeit hat der Fluß in sehr harten Gesteinen ein Thal ausgenagt von fast 2000 m Tiefe und von durchschnittlich 12 englischen Meilen Breite bei einer Länge von 200 englischen Meilen. Selbst wenn der Fluß nur unausgesetzt auf einer Stelle in die Tiefe genagt und gesägt, wenn er mit anderen Worten eine sehr enge und schmale Schlucht eingerissen hätte, so wäre das eine ungeheure Leistung; um jedoch die erstaunliche Breite des in festen Felsen eingeschnittenen Kanals hervorzubringen, mußte er mannigfach seinen Lauf verändern, also sehr viel mehr Zeit verwenden, als eine einfache Schlucht erfordert hätte. Wir können uns der Einsicht nicht verschließen, daß zu einer solchen Aktion Millionen von Jahren erforderlich sind, und diese riesige Summe müssen wir für den Zeitraum vom Beginn des Pliocäns bis heute zugestehen, einen Zeitraum, der, geologisch gesprochen, so gering ist, daß die Veränderung der Meeresmollusken während desselben nur unbedeutend war und sich kaum auf die Hälfte der Arten derselben erstreckt hat. Man hat allerdings, um diese Konsequenz abzuschwächen und kürzere Zeiträume herausrechnen zu können, angenommen, daß früher ein sehr nasses Klima geherrscht habe, während dessen der Colorado ungeheure Wassermassen geführt habe und die Austiefung sehr rasch vor sich gegangen sei. Aber diese theoretischen Vorurteilen zuliebe aufgestellte Hypothese hat nicht den mindesten Halt und wird durch die Beobachtungen von Dutton über die Seitenthäler des Großen Cañon widerlegt.

Sehr merkwürdige Erosionsverhältnisse entstehen in Gegenden, in denen sich über einem verschiedenartig gebauten, geologisch älteren Grundgebirge eine transgredierende Decke horizontaler

Schichten ausbreitet. Nach der Trockenlegung eines solchen Gebietes entsteht natürlich ein System von reinen Erosionsthälern, und diese müssen sich bei genügend hoher Lage über dem Meeresspiegel immer mehr vertiefen, bis sie schließlich zu der geologisch mannigfaltig gebildeten Unterlage vordringen. Die einmal geschaffenen Wasserläufe bleiben in ihren Rinnsalen und müssen auch in die neue Unterlage senkrecht niedergehen. So wird das ursprünglich auf der Decke horizontaler Schichten geschaffene System von reinen Erosionsfurchen auf ein gefaltetes oder wie immer mannigfaltig gebautes Grundgebirge vererbt, und wir stehen einem Flußnetz gegenüber, das in seinen Hauptzügen vom geologischen Bau des Bodens unabhängig und einer wesentlichen Veränderung nicht mehr fähig ist.

Hält nun die Erosion eine genügende Zeit an, so kann die meist leicht zerstörbare jüngere Decke gänzlich oder bis auf einzelne Denudationsreste entfernt werden, und nun kommt die Unterlage je nach ihrem geologischen Bau und der Härte der Gesteine im Relief der Oberfläche zur Geltung. Die härteren Partien bilden Bergmassen, die weicheren dagegen Niederungen, die steil aufgerichteten Schichten werden zu Kämmen, das ganze Land aber zeigt ein Flußnetz, in dem keinerlei Abhängigkeit vom geologischen Bau erkennbar ist. Mit Staunen nimmt man in solchen Gebieten wahr, daß kleine Flüßchen Bergmassen aus überaus harten Gesteinen in tiefen Cañons durchschneiden, während sie doch in der unmittelbaren Umgebung an der Grenze gegen ein leicht verwitterndes weiches Nebengestein einen weit bequemeren und scheinbar von der Natur vorgezeichneten Weg vorfinden. Sehr viele, anscheinend ganz rätselhafte Fälle von Thaldurchbrüchen, die man früher fast durchweg als „Spaltenthäler" aufgefaßt hat, finden in der angegebenen Weise als sogenannte epigenetische Thäler eine naturgemäße Erklärung. Mit gewissen Abänderungen wiederholt sich diese Thalform auch in gefalteten Gebirgen, und wir werden weiter unten Beispiele hierfür kennen lernen.

Geben uns Tafelländer vorwiegend Gelegenheit, reine Skulpturthäler kennen zu lernen, die ausschließlich ein Werk der Erosion sind, so fehlt es doch auch nicht an Beispielen, die die Einwirkung des geologischen Baues auf die Anlage der Thäler zeigen. Wo das Gestein von senkrechten Klüften durchzogen ist, wie in der Sächsischen Schweiz, wird die Bildung enger, von nahezu senkrechten Wänden begrenzter Thäler veranlaßt, und wechselnde Härte der Gesteinslagen ist auf die Neigung der Gehänge und die Entstehung von Stufen von Einfluß. Viel bedeutungsvoller aber sind die tektonischen Einbrüche der Tafelländer, namentlich die Grabenbrüche (s. S. 343).

Zur Zeit, als die Frage: Spaltenthäler oder Erosionsthäler? lebhaft erörtert wurde, spielte das Jordanthal mit dem Toten Meere eine wichtige Rolle in der Beweisführung: es wurde als Typus eines Spaltenthales angeführt. Diese Bezeichnung ist nun allerdings nicht ganz zutreffend; wohl aber ist richtig, daß diese auffallende Hohlform nicht durch das Wasser ausgebildet wurde, sondern der großen ostafrikanischen Grabensenkung ihre Entstehung verdankt, die wir im Vorhergehenden (S. 376) ausführlich besprochen haben. Hier ist also der tektonische Vorgang der primäre, die Auswaschung durch das Wasser nur eine Folgeerscheinung, und die Hohlform des Jordanthales und des Toten Meeres würde auch ohne den Jordanfluß bestehen. Die Erscheinung der Grabensenkungsthäler kehrt mehrfach wieder; das Leinethal bei Göttingen z. B. bietet in verkleinertem Maßstab ganz dieselben Verhältnisse dar wie die Senkung des Toten Meeres, nur mit dem Unterschied, daß hier ein Abfluß nach der Nordsee vorhanden ist, während das Tote Meer, wie bekannt, abflußlos ist. Ein weiteres Beispiel bildet das Oberrheinthal in der Grabensenkung zwischen Schwarzwald und Vogesen. In diesem Falle dient die tektonische Senkung der Abfuhr einer mächtigen Strömung aus dem benachbarten niederschlagsreichen Gebirge.

Wenn aber eine Senkung in einem regenarmen Gebiet gelegen ist und auch die Nachbarschaft keinen größeren Strom liefert, so kann es vorkommen, daß solche Senkungen einen Fluß

in sich betten, dessen Bedeutung in gar keinem Verhältnis zu der Weite des Thales steht. In anderen Fällen entstehen in der tektonischen Grabensenkung untergeordnete Wasserscheiden, hervorgerufen durch vulkanische Aufschüttungen oder auch nur durch die mächtigen Sedimente einer regenreicheren Periode, und dann nimmt eine Reihe von abflußlosen, oft salzigen Seen mit schwachen Zuflüssen die tiefsten Stellen der Senkung ein, wie dies der große ostafrikanische Graben erkennen läßt. Noch merkwürdigere Verhältnisse bietet aber der zentralafrikanische Graben dar; er enthält eine Reihe mächtiger Wasserbecken, deren Abfluß nach drei verschiedenen Richtungen erfolgt: der Nyassasee entleert sich durch den Shiréfluß zum Sambesi und in den Indischen Ozean, der Tanganjika durch den Kongo zum Atlantischen Ozean, der Albert- und der Albert Edward-See durch den Nil in das Mittelländische Meer.

Thalbildung in Faltengebirgen.

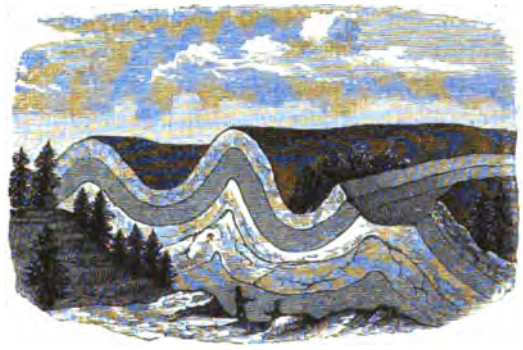
In viel höherem Grade als im Tafellande ist die Anlage der Thäler im Faltengebirge vom geologischen Bau abhängig. Schon durch die einfache Fundamentalerscheinung der Schichtenbildung ist der Zusammenhang des Gesteins nach verschiedenen Richtungen verschieden, Wechsellagerungen heterogener Gesteine von bald weicher, bald harter Beschaffenheit müssen Unregelmäßigkeiten hervorrufen. Diese machen sich auch bei horizontaler Lagerung geltend, vor allem aber treten sie uns in gestörten und aufgerichteten Schichtgebirgen entgegen und bedingen hier sehr wichtige Unterschiede zwischen einzelnen Arten von Thälern. Der naturgemäßeste Lauf für das abfließende Wasser ist derjenige, welcher dem Winkel der stärksten Neigung der Gehänge folgt, also direkt vom Kamme zum Fuße (vom Zentrum zum Außenrande) des Gebirges, senkrecht auf das Streichen und die Hauptlängenerstreckung des Gebirges; hier ist die größte Neigung und demgemäß das stärkste Gefälle, das Wasser schneidet dort am leichtesten ein. Da nun in der großen Mehrzahl der Gebirge das Streichen der Schichten dem der Kämme parallel geht, mit ihm zusammenfällt, so werden Thäler, die der genannten Regel folgen, das Streichen der Schichten annähernd rechtwinkelig verqueren; man bezeichnet sie als Querthäler.

Aber nicht immer schlagen Flüsse und Bäche diesen Weg ein; ist er auch den natürlichen Neigungsverhältnissen gemäß am günstigsten, so müssen doch alle Schichten senkrecht auf ihr Streichen, d. h. in derjenigen Richtung ausgenagt und angeschnitten werden, in welcher sie die größte Widerstandskraft entwickeln. Viel günstigere Verhältnisse bieten die Gesteine der Erosion längs ihrer Streichungsrichtung: hier ist gleichsam in jeder Schichtfuge schon ein natürlicher Angriffspunkt vorgezeichnet, und speziell in Fällen, in denen eine weichere Partie zwischen härteren eingeschaltet liegt, ist die Thalrinne geradezu vorgebildet. In der That schließen sich viele Wasserläufe der Längserstreckung der Gebirge und der Streichungsrichtung der Schichten an, sie bilden sogenannte Längsthäler.

Für beide Arten von Entwickelung lassen sich zahllose Beispiele anführen. In den Alpen stellen z. B. das Zillerthal, das Ötzthal, das Reußthal vom Vierwaldstätter See an aufwärts, das Eisackthal, das Etschthal unterhalb Bozen, das Piavethal ausgezeichnete Querthäler dar, während das Pusterthal, das Gailthal, das Pinzgau, das Innthal zwischen Landeck und Wörgel, das Wallis ꝛc. Längsthäler sind. Sehr viele Flüsse haben auch gemischte Thäler; so fließt die Salzach von ihrem Ursprung am Krimler Tauern bis etwas unterhalb Kriml in einem Querthal nach Norden, biegt dann unter einem rechten Winkel in das westöstlich verlaufende Längsthal des Pinzgaues um, dem sie bis St. Johann folgt; dann tritt eine abermalige Umbiegung in das nördlich gerichtete Querthal des Pongaues ein, und diese Richtung wird dann bis zum

Austritt aus den Alpen bei Salzburg beibehalten. Ganz ähnliche Verhältniſſe ſehen wir am Rhein, Inn, an der Enns, Adda, Etſch und einer Menge anderer Flüſſe.

Sehr viel ſeltener als dieſe typiſchen Hauptrichtungen ſind die Thäler, die ſchräg zum Streichen verlaufen, da eine ſolche Entwickelung weder durch ſehr günſtiges Gefälle noch durch geringſten Widerſtand der Geſteine gefördert wird. In den Fällen, in denen man nach der Betrachtung der Karte auf das Vorhandenſein eines ſchrägen Thales ſchließen möchte, findet man an Ort und Stelle zwar nicht immer, aber doch gewöhnlich, daß ein und derſelbe Flußlauf, häufig wechſelnd, auf kurze Strecken bald die Längs- und bald die Querrichtung einſchlägt. Eine Scheidung in dieſe Ausbildungsformen iſt natürlich da nicht möglich, wo eine Gegend aus horizontalen Schichten zuſammengeſetzt iſt, und läßt ſich auch in den ſeltenen Fällen nicht ſtreng durchführen, in denen das Streichen der Schichten nicht mit dem der Kämme zuſammenfällt, ſondern dieſe unter einem ſpitzen oder rechten Winkel ſchneidet, wie das z. B. bei einem großen Teil der Gebirge an der Weſtküſte des Griechiſchen Archipels der Fall iſt. Stehen die Schichten ſenkrecht zur Richtung des Gebirgskammes, ſo verlaufen alle Thäler ſenkrecht zur Längserſtreckung des Gebirges; ſie ſind alſo in Beziehung auf dieſe Querthäler, in ihrem Verhältnis zum Streichen der Schichten dagegen Längsthäler.



Thalbildung im Juragebirge.

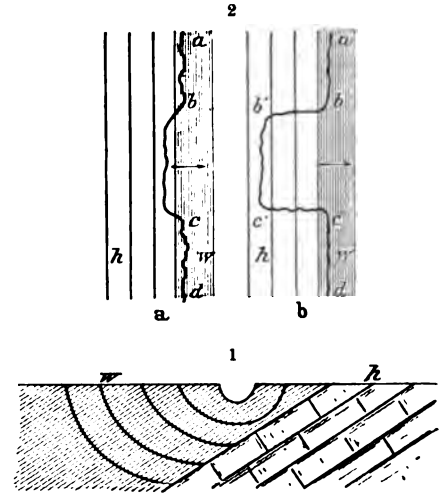
Bei vielen Längsthälern liegt der beſtimmende Einfluß des Gebirgsbaues auf die Flußrichtung klar zu Tage. In manchen davon ſieht man eine vollſtändige Abhängigkeit von der Richtung der Falten, wie das namentlich bei dem Juragebirge in der Schweiz und im öſtlichen Frankreich auffallend hervortritt. Die meiſten Flüſſe folgen im größten Teil ihres Laufes den durch die Faltung der Schichten bedingten Ketten, und die Thäler entſprechen ſehr oft dem tiefſten Teil ſynklinaler Falten, denn die Synklinale iſt ja gleichſam zum Flußbett prädeſtiniert, ebenſo wie die Antiklinale zur Bergkette. Trotzdem iſt aber in einzelnen Fällen ein Längsthal mitten in den Scheitel eines Gewölbes eingetieft (ſ. obenſtehende Abbildung).

In den Alpen iſt das Synklinalthal, bei dem der Fluß der Mitte einer ſynklinalen Falte folgt, viel ſeltener als im Jura, häufiger dagegen findet man Längsthäler, die in ein iſoklinales, alſo gleichgerichtetes Schichtſyſtem eingegraben ſind, wobei dann die am wenigſten widerſtandsfähigen Schichten zur Fortleitung des Abfluſſes dienen. Das Innthal von Landeck bis Schwaz folgt z. B. der Grenze der Kalkzone gegen die leichter verwitternden Grauwacken und kriſtalliniſchen Schiefer, und dieſelbe Lage nimmt auf der Südſeite das Drauthal ein. Im kleinen und großen wiederholt ſich dieſe Erſcheinung vielfältig; dem Streichen der am wenigſten widerſtandsfähigen Schichten folgen in jedem Kettengebirge Längsthäler, und es hängt weſentlich von der Mächtigkeit dieſer Schichten ab, ob ſich darin nur untergeordnete Nebenthäler oder weithinziehende Hauptthäler entwickeln.

Unverkennbar iſt ferner der Einfluß, den Brüche und Verwerfungen auf die Anlage der Thäler ausüben. So bedingen nicht ſelten Wechſelflächen zwiſchen zwei Schuppen (ſ. S. 347) die Bildung von Längsthälern, und noch häufiger iſt dies bei einfachen Längsbrüchen und Verwerfungen der Fall. Namentlich die letzteren ſind es, die nicht nur in den jugendlichen Kettengebirgen, ſondern auch in Rumpfgebirgen viele der bedeutendſten Thäler hervorgerufen haben.

Blattverschiebungen können die Entstehung von Querthälern begünstigen, und Grabenversenkungen spielen in dieser Beziehung ebenfalls eine Rolle.

Neben diesen zahlreichen Fällen tektonischer Thalbildung kommen natürlicherweise auch in Gebieten gestörter Schichten Thäler vor, die wesentlich oder selbst ausschließlich ein Werk der Erosion sind. Ferner ist zu berücksichtigen, daß die ursprüngliche Abhängigkeit des Flußnetzes vom geologischen Bau um so mehr verwischt wird, je älter ein Gebirge ist, und je länger es der allgemeinen Abtragung ausgesetzt war. Die Thäler werden ja bei entsprechendem Gefälle immer mehr vertieft und können so in Schichten gelangen, die von denen, in welchen sie ursprünglich eingeschnitten waren, gänzlich verschieden sind. Ein Thal, das bei seiner Entstehung durch eine schiefe Bruchfläche veranlaßt war, entfernt sich durch senkrecht niedergehende Vertiefung des Rinnsals immer mehr von dieser Fläche, bis schließlich nur ein entfernter Zusammenhang zwischen Thalbildung und Verwerfung wahrnehmbar ist. So können bei längerer Dauer der Erosion gar manche scheinbar abnorme Fälle von Thalbildung entstehen, deren Verständnis in neuerer Zeit namentlich durch F. von Richthofen wesentlich gefördert worden ist. Wir wollen einen davon näher besprechen.



Seitenverlegung eines Thales: 1) infolge eines Härtewechsels des Gesteins, 2) durch härtere Schichten. w weiches, h hartes Gestein, ⟶ Schichtenneigung. (Nach F. von Richthofen.)

Die Vertiefung der Thäler erfolgt nur so lange in annähernd senkrechter Richtung, als die Härte des Gesteins annähernd dieselbe bleibt. Trifft aber das Thal auf bedeutend härtere und schief einfallende Gesteinsschichten, so muß seine Sohle auf der Fläche des harten Gesteins abwärts gleiten; das Thal wird sich, der Fallrichtung der harten Schichten folgend, immer mehr und mehr seitlich verlegen (s. nebenst. Abbildung 2). Wenn nun ein Fluß (a b c d in der nebenstehenden Abbild. 1) im allgemeinen der Grenze zwischen hartem und weichem Gestein folgt, wie dies so häufig geschieht, aber auf der Strecke b c durch ursprüngliche Oberflächenverhältnisse oder durch Kluftbildung veranlaßt in das harte Nebengestein übergreift, so wird bei der Tieferlegung des Flußbettes die Strecke b c senkrecht nach unten eingeschnitten, also in b c liegen; die Stücke a b und c d aber gleiten auf der Schichtfläche des harten Gesteins, also nach rechts, hinab. Auf diese Weise wird sich die in den harten Schichten h liegende Stromstrecke immer weiter nach links von der Grenze zwischen hartem und weichem Gestein entfernen oder, mit anderen Worten, immer tiefer in das Gebiet der harten Schichten hineingelangen und die verbindenden Querstücke b b' und c c' werden immer länger werden. F. von Richthofen hat diese Erscheinung namentlich im südöstlichen China in großartigem Maßstabe beobachtet. Das Gestein h bildet wegen seiner größeren Härte ein schroffes Gebirge, die leicht verwitternden Schichten dagegen ein sanftes Gelände, das zur Aufnahme des Stromes anscheinend wie geschaffen ist. Die beschriebenen Verhältnisse haben aber bewirkt, daß der Strom den bequemen Weg an der Grenze von h und w verläßt und in wilder, an Stromschnellen und Klippen reicher Schlucht das starre Gebirge durchbricht.

Der beschriebene Fall von „abnormer" Thalbildung führt uns zu der merkwürdigen Gruppe der sogenannten Durchbruchthäler, deren Erklärung die Geologen und Geographen vielfach beschäftigt hat. Beispiele solcher Durchbrüche finden sich in den verschiedensten Gebirgen: in den Karpathen entspringt der Poprad an der Südseite der Hohen Tatra, fließt, von der Waag nur

durch eine niedere Wasserscheide getrennt, über ein verhältnismäßig flaches Terrain um die Ostseite der Tatra und wendet sich dann nach den nördlich gelegenen Ketten der Karpathen, die er in einem höchst komplizierten und stark gewundenen Thale durchbricht. Die Aluta zwängt sich durch die über 2000 m hohen Transsylvanischen Alpen, obwohl ihre Quellen nur etwa 1000 m hoch gelegen sind. In ähnlicher Weise durchschneidet in Bulgarien der Isker die Mauer des Balkans in einem System tief eingerissener Schluchten. In Thessalien drängt sich der Peneus oder Salamvria durch die prachtvolle Tempeschlucht zwischen den gewaltigen Bergriesen des Ossa und Olymp, während in der Richtung gegen den Golf von Volo nur eine ganz niedere Terrainwelle zu überschreiten wäre. In Persien gibt es eine Anzahl von Flüssen, die die gewaltigen Ketten des Elburz in tiefen Thälern durchschneiden; in Indien entspringen Indus, Satledsch und Brahmaputra in dem tibetanischen Hochthal zwischen Himalaja- und Karakorumkette und durchbrechen dann das höchste Gebirge der Erde in Querthälern, die an Großartigkeit und Tiefe der Schluchten unübertroffen sind. In Nordamerika werden unter anderem die Alleghanies durch die Thäler des Delaware, des Potomac und des Susquehannah, das Uintagebirge vom Green River, die Sierra Nevada und das Kaskadengebirge vom Sacramento- und Columbiafluß durchsetzt. Eine Reihe von lehrreichen Beispielen bietet der Lauf der Donau: Kaum ist sie in 800 m Höhe an den Gehängen des Schwarzwaldes entsprungen, so bricht sie durch das 1000 m hohe schwäbische Juraplateau; weiter stromabwärts wählt sie ihren Weg in hartem Granit durch die Enge des Greiner Strudels zwischen Erhebungen von über 500 m hindurch, und unweit davon ist in weichen thonigen Tertiärbildungen die Senke von Amstetten gelegen, die die Eisenbahn, nur auf 390 m ansteigend, zwischen Enns und Ybbs benutzt. Bei Pöchlarn tritt die Donau abermals in eine Enge, die Wachau, wobei sie bis 700 m anstrebende Berge durchbricht, obwohl sich ihr bei St. Pölten eine einladende Niederung von nur 290 m Höhe bietet. In Ungarn zwängt sie sich zwischen der Matra und dem Graner Gebirge durch 700 m hohe Berge, die sie zwischen Raab und Kanisza in 250 m Höhe bequem umgehen könnte, und endlich windet sie sich in enger, an Stromschnellen reicher Pforte durch das Banater Gebirge, obwohl in geringer Entfernung das Temesthal einen geeigneteren Weg darbietet. Zu diesen Beispielen ließen sich noch viele andere hinzufügen, doch werden schon diese zum Beweise hinreichen, daß solche Durchbrüche durchaus keine seltene Erscheinung sind.

Um solche Vorkommnisse zu erklären, könnte man etwa annehmen, daß die Gewässer so lange zu Seen gestaut waren, bis sich ihre Abflüsse tiefe Betten ausnagten; allein dann müßten diese an der tiefsten Stelle der Bergumwallung liegen, was, wie wir gesehen haben, nicht der Fall ist. Es müßte der Poprad in die Waag, die Aluta in die Maros, der Isker in die Maritza münden, der Peneus sich bei Volo ins Meer ergießen ꝛc. Eine Schließung des Eisernen Thores vollends würde die Donau so weit aufstauen, daß sie über die Schwelle von Weißkirchen in Mähren zur Oder ablaufen müßte. Es ist daher nicht zu verwundern, wenn unter dem Eindruck so zahlreicher abnormer Fälle die ursprüngliche Lehre von der Auswaschung der Thäler durch das rinnende Wasser in den zwanziger und dreißiger Jahren dieses Jahrhunderts immer mehr verlassen wurde und ganz allgemein die Vorstellung Eingang fand, daß sowohl diese Durchbrüche als überhaupt die meisten Querthäler große, klaffende Verwerfungsspalten seien, die bei der Aufrichtung der Gebirge und durch diese gebildet worden seien. Lange Zeit beherrschte diese Spaltentheorie die Anschauungen über die Thalbildung, und erst die Fortschritte der Lyell-Hoffschen Richtung haben in diese Lehre Bresche gelegt und den Boden für richtigere Vorstellungen vorbereitet. Die Bedeutung der Brüche, der Verwerfungen und Grabensenkungen für die Thalbildung haben wir oben besprochen; aber von dieser Lehre ist die alte Spaltentheorie weit verschieden, denn man stellte sich vor, daß es weite, offene Verwerfungsspalten seien, die den Stromlauf

aufnehmen und ihm eine Strecke weit den Weg bahnen. In Wirklichkeit läßt sich leicht nachweisen, daß gerade bei denjenigen Querthälern, welche durch ihre Tiefe und Schmalheit und durch den Steilfall der Wände an Spalten erinnern, von Verwerfungen oder Verschiebungen keine Spur zu sehen ist. Überdies sind die Wände solcher Thäler oft genug von oben bis unten mit alten Strudellöchern oder Riesenkesseln besetzt, wodurch die Auswaschung durch das Wasser untrüglich bewiesen ist. Bei den großen Durchbrüchen der gefalteten Ketten hat man bei genauerer Untersuchung gefunden, daß die beiden Thalseiten einander genau entsprechen und die Schichten ohne die geringste Störung von einer Seite zu der anderen durch das Flußbett hindurchziehen. So wurde denn die Spaltentheorie allmählich verlassen, und bald tauchten in verschiedenen Ländern neue und zutreffende Gedanken zur Erklärung dieser merkwürdigen Erscheinungen auf.

War einmal festgestellt, daß die Faltung der Gebirge keineswegs mit einem Ruck erfolgt, sondern im Verlauf eines langwierigen Prozesses, und war ferner angenommen, daß die Erosion unmittelbar der ersten Erhebung nachfolgen müsse, so waren die Grundbedingungen für die Lehre gegeben, daß die Flußläufe unter Umständen *älter sein können als die Gebirge*, die sie durchschneiden, und daß der heutige Verlauf der Thäler das Resultat eines Millionen von Jahren dauernden, höchst verwickelten Kampfes ist, in dem die Erosion den Fluß unverändert in seiner Bahn zu erhalten und alle ihm gegenüberstehenden Hindernisse zu zerstören, die gebirgsbildende Kraft dagegen den Lauf der Wasser in eine ihren Linien entsprechende Richtung zu zwingen sucht. Erfolgt z. B. im Thalwege eines kräftig fließenden, wasserreichen Stromes eine Aufrichtung in langsamem Tempo, so wird er im stande sein, die in seinem Bette sich ihm entgegenstellenden Massen zu zerstören und auszunagen; während sich ringsumher hohe Berge auftürmen, wird der Wasserlauf annähernd in dem alten Niveau bleiben und quer durch die sich bildenden Ketten ein tiefes Thal aussägen. Schwächere Wasserläufe dagegen werden von der Gebirgsbildung überwältigt und entweder in ein dem tektonischen Bau entsprechendes Gefälle gezwungen, oder vorübergehend zu Seen aufgestaut. Ebenso können, wenn ein Gebirge als Ganzes gehoben wird, die darüber hinziehenden Flüsse ihr Bett in demselben Maße vertiefen, als die Hebung erfolgt, und sich so in ihrem alten Niveau behaupten.

So hat man z. B. gefunden, daß die Flußthäler des Himalaja zur Tertiärzeit dieselben waren wie heute, und daß dieselben Flüsse, die gegenwärtig die tertiären Konglomerate, Thone ꝛc. am Fuße des Himalaja durchschneiden, diese selbst abgelagert haben. Alle großen Durchbruchsthäler des Himalaja wurden eingeschnitten, als sich das Gebirge erhob, und auch der Donaudurchbruch des Eisernen Thores ist so zu erklären.

Es sind aber auch noch andere Möglichkeiten für die Bildung von Durchbruchthälern gegeben. Eine davon haben wir schon bei der Besprechung der rückschreitenden Erosion und der Erniedrigung der Wasserscheiden erwähnt. Es kann vorkommen, daß ein Fluß in einem Längsthal sein Bett durch reichliche Geschiebeablagerungen dermaßen erhöht, daß sein Wasser an der niedrigsten Stelle, da wo die Wasserscheide durch ein Querthal entsprechend vertieft worden ist, in dieses Querthal abfließt. Ein solcher Fall liegt bei dem Durchbruch des Poprad durch die Karpathen vor. Sein Lauf an der Süd- und Ostseite der Hohen Tatra ist durch einen tektonischen Einbruch bedingt, der bis zu der sogenannten Klippenzone[1] und zu den massigen Sandsteinbergen der nördlichen Karpathen reicht. Bei der Klippenzone angelangt, bewegt er sich eine Strecke weit in deren Streichen und hat offenbar in früherer Zeit seinen Abfluß von Palocsa nach Südosten genommen,

[1] Im Norden der Zentralkarpathen verläuft eine bogenförmige Zone von Kalkbergen mesozoischen Alters, die von Thonen und Sandsteinen der Oberkreide und des Alttertiärs eingehüllt werden. Man bezeichnet sie nach der eigentümlichen Form der Kalkmassen als Klippenzone.

dem jetzigen Tarczathal entlang, das jetzt von der Eiſenbahn von Eperies nach Orló benutzt wird. Als aber in der Gegend von Palocſa und Orló die nördlichen Sandſteinberge durch rückſchreitende Eroſion eines nach Norden gerichteten Querthales genügend tief durchfurcht waren, konnte ſich das bei Palocſa geſtaute Waſſer des Poprad nach Norden in die Sandſteinberge der Karpathen ſchlagen, die es jetzt in einem vielfach geſchlängelten Querthal durchſchneidet.

Die hydrographiſch ſo merkwürdige Gegend der Zentralkarpathen bietet im Dunajecdurchbruch auch für eine andere Art abnormer Thalbildung ein ausgezeichnetes Beiſpiel, nämlich für die wichtige und ſehr verbreitete Gruppe der epigenetiſchen Thäler, deren Ausbildung im

Durchbruch des Dunajec durch den Pienin. (Nach Photographie.)

Tafelland wir ſchon im vorhergehenden Abſchnitt beſprochen haben. Der Dunajec erläutert dieſelbe Art von Durchbrüchen im Faltengebirge. Er durchſchneidet beim Roten Kloſter ſüdlich von Szczawnica die ſchon genannte ſüdliche Klippenzone gerade an der Stelle, wo in den Pieninenbergen die juraſſiſchen Kalk- und Hornſteinmaſſen am mächtigſten auftragen, und wälzt ſein Waſſer durch eine tiefe, ſteilwandige und mehrfach gewundene Schlucht, während unweit davon rechts und links weiche Sandſteine und Schieferthone vorliegen (ſ. obenſtehende Abbildung). Dieſe letzteren gehören der Oberkreide und dem Alttertiär an und bilden eine transgredierende Hülle um die gefalteten und vielfach gebrochenen Kalkklippen. Obwohl dieſe überaus leicht verwitternden, geologiſch jüngeren Hüll- und Deckgeſteine nach ihrer Ablagerung auf den Juraklippen ſpäter ſelbſt noch gefaltet wurden, behielten ſie doch ihren Charakter als Hüllgeſteine bei, und in dieſen weichen Schichten wurde das Flußnetz urſprünglich, dem damaligen Gefälle entſprechend, angelegt. Je weiter die Tieferlegung der Rinnſale fortſchritt, deſto tiefer gruben ſie ſich in den harten Kalkfels ein, während gleichzeitig der Jurakalk vermöge ſeiner großen Widerſtandsfähigkeit gegen die

Abwaschung aus der viel stärker denudierten Thon- und Sandsteinhülle als schroff aufragende Bergmasse hervortrat. Daß diese Deutung richtig ist, beweist die Wiederholung derselben Erscheinung in kleinerem Maßstab, die in derselben Gegend, namentlich in Javorki bei Szczawnica, alle Stadien des Vorgangs zu verfolgen gestattet. Man kann dort den beginnenden Prozeß beobachten, wo in der Sohle des Rinnsals der zu durchschneidende Kalkfels unter der Decke der Thone und Sandsteine eben durchschimmert, ferner den weiter vorgeschrittenen, wo die Wandungen schon aus Kalkstein bestehen, dieser aber noch von der Hülle der weicheren Gesteine rings umgeben wird, und endlich hat man nach vollzogener Abwaschung des Gebietes und Tieferlegung des Flußbettes die vollendete Erscheinung vor sich: eine harte Kalkmasse, steil aufragend aus einem ebenen oder flach welligen Lande, und mitten durchsägt von einer schwachen Wasserader, die aus jenem sanft geböschten Hügelland herkommt. Die äußere Erscheinungsform solcher Kalkklippen hat nicht

Cañon des Yampaflusses in Colorado, Nordamerika. Die dunkle, enge Kluft, die den Berg durchschneidet, nimmt den Fluß auf. (Nach Bechler.)

wenig Ähnlichkeit mit der obenstehend abgebildeten Bergmasse in Colorado, die vom Yampafluß in einem wahrscheinlich ebenfalls epigenetischen Thale durchzogen wird. Zu derselben Gruppe von Thaldurchbrüchen gehören auch die der Donau bei Grein und bei Krems, ferner die Thäler der Salt Range in Indien, vielleicht auch der Durchbruch des Green River in den Uintabergen, und viele andere. Offenbar spielt die epigenetische Thalbildung nicht nur im Tafelland und in Rumpfgebirgen, sondern auch im Faltengebirge eine hervorragende Rolle.

Die Neigung der Flüsse, ihr Bett beizubehalten, wenn sie im Einschneiden begriffen sind, führt noch auf einem anderen Wege zur Bildung von Durchbruchthälern. Vom First einer Antiklinale rinnt Wasser ab und bildet eine Erosionsfurche. Da die Denudation in größerer Höhe aus Gründen, die wir im nächsten Abschnitt besprechen werden, größer ist, als in den tiefer gelegenen Teilen eines Gebirges, so wird zuerst der Rücken der Antiklinale abgetragen, und es kommt dort die Unterlage der obersten Schichtgrupe, in die sich der Fluß ursprünglich eingeschnitten hat, zum Vorschein. Wenn die Unterlage aus einem weicheren Material besteht als die oberste Schichtgruppe, so muß der Rücken der Antiklinale und zugleich das Quellgebiet des Flusses durch die allgemeine Denudation bis zu einem viel tieferen Niveau abgetragen werden, als die Flügel der Antiklinale, die aus der härteren obersten Schichtgruppe bestehen, und es muß, da der Flußlauf unbekümmert darum bestehen bleibt, endlich der Fall eintreten, daß der Fluß, aus einem tieferen Gebiet kommend, eine höher ansteigende Masse durchquert. Auf diese Weise sind

beispielsweise der Altmühldurchbruch durch den Frankenjura und die Durchbrüche der Weald-Flüsse südöstlich von London entstanden.

Endlich müssen wir noch einer eigentümlichen, aber auf Karstgebiete beschränkten Form von Thaldurchbrüchen gedenken: Durchbrüche durch Bloßlegung eines unterirdischen Flußlaufes infolge von Deckeneinsturz. Die Verhältnisse der Karstgegenden werden uns in einem folgenden Abschnitt noch näher beschäftigen, hier können wir uns darauf beschränken, zu erwähnen, daß in solchen aus reinen Kalken bestehenden Gebieten unterirdische Flußläufe zu den häufigen Erscheinungen gehören. Sie entstehen durch die chemische Erosion des Wassers an Klüften und Fugen des Kalksteins und bewegen sich durch ein häufig sehr verwickeltes System von Kammern und verschiedenartigen, oft sehr großen Hohlräumen. Stürzt nun die Decke eines solchen unterirdischen Flußlaufes teilweise ein, so entsteht ein kurzes, blindes Thal; wenn sich aber der Einsturz dem ganzen Flußlauf entlang fortsetzt, so wird der unterirdische Flußlauf zu einem normalen und stellt sich als ein Durchbruchsthal durch das Kalkgebirge dar. Manche Thalstrecke im Kalkgebirge, wohl auch einzelne Klusen des Jura mögen in dieser Weise entstanden sein.

So sehen wir denn eine Vielheit von Prozessen zu einem und demselben Ziele führen, zur Bildung von Durchbruchthälern, und Erscheinungen, die vor Jahren nur auf gewaltsame Weise durch die ganz unbegründete Spaltentheorie erklärt werden konnten, stellen sich nunmehr als das Ergebnis eines natürlichen Entwickelungsvorganges dar.

Abtragung der Gebirge.

Verfolgen wir die Ergebnisse über die Beziehungen der Thäler zu den Ketten in ihren Konsequenzen weiter, so gelangen wir zu einer Vorstellung von der enormen Denudationsarbeit, die das Wasser in den Gebirgen leistet. Wenn wir z. B. die Alpen ins Auge fassen, die doch ein verhältnismäßig junges Gebirge sind, da ihre Aufrichtung bis gegen die jüngere Miocänzeit reicht, so sehen wir, daß sie schon in ganz gewaltigem Maße abgetragen worden sind und nur noch eine Ruine ihres früheren Bestandes darstellen. Es genügt, auf solche Beispiele wie die Drei Zinnen bei Schluderbach in Tirol hinzuweisen (s. S. 12), deren turmartige Gipfelbauten die Erosionsreste einer ursprünglich nach allen Seiten gleichmäßig und horizontal sich ausbreitenden Ablagerung sind. Der gewaltige Zacken des Matterhorns bei Zermatt in der Schweiz ist ein isolierter Pfeiler, der aus einem früher vorhandenen Gewölbe herausgeschnitten ist (s. Abbildung, S. 497). Auf der obersten Spitze der gegen 3000 m hohen Aiguilles Rouges bei Chamonix, dem Massiv des Montblanc gegenüber, liegt eine isolierte kleine Scholle von horizontal gelagerten Schichten des oberen Jura, die sich nach keiner Richtung hin fortsetzt, aber offenbar den letzten Erosionsrest einer ursprünglich zusammenhängenden horizontalen Decke darstellt (s. Abbildung, S. 363).

Durch eine Synklinalfalte gebildeter Berggipfel.
(Nach Heim.)

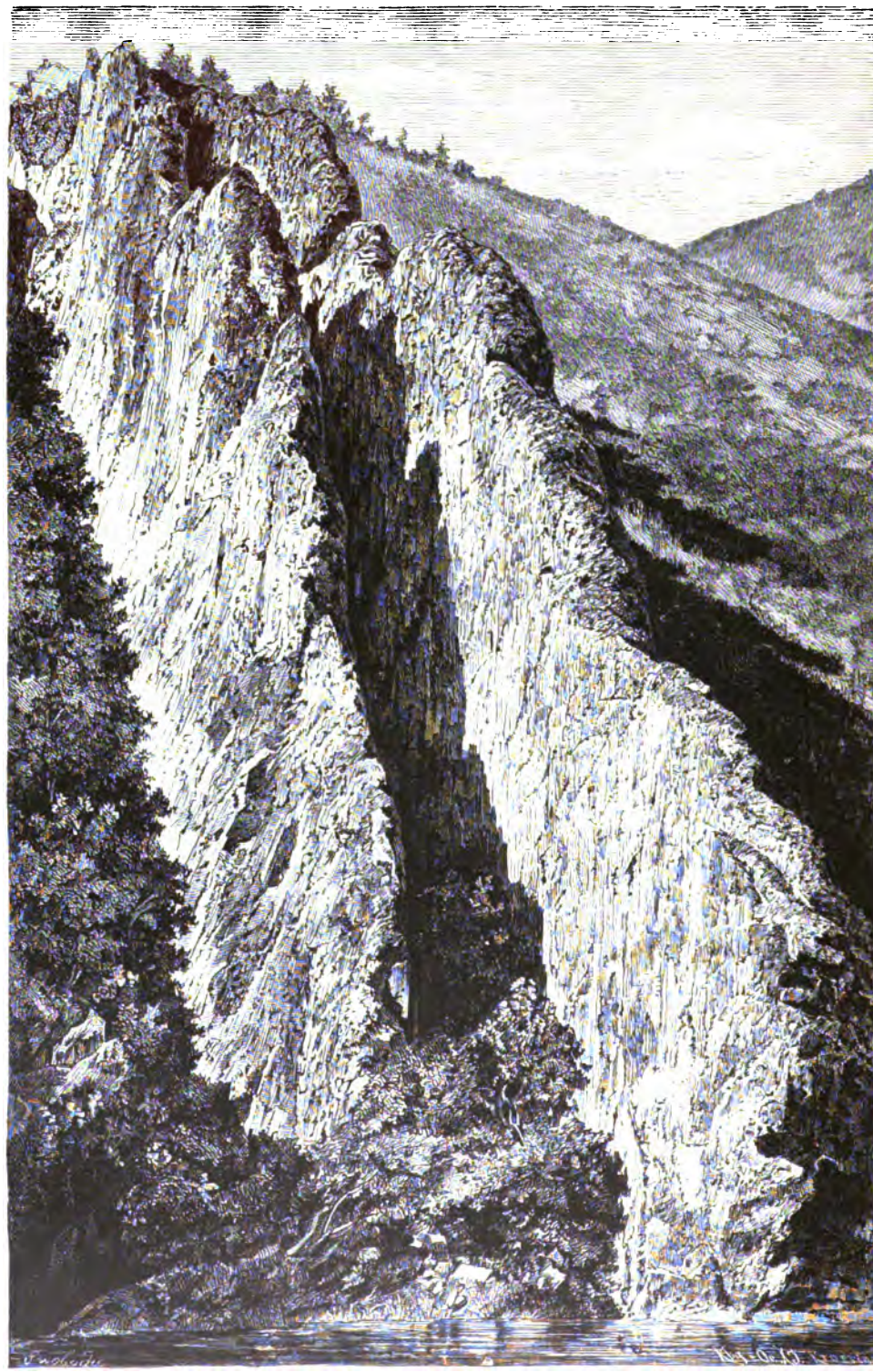
Schon solche Fälle, die sich in großer Menge anführen lassen, zeigen uns, daß in den Alpen nicht nur Thäler ausgetieft, sondern daß auch aus den Hochregionen Gesteinsmassen zerstört und weggeführt worden sind, deren Mächtigkeit nach Tausenden von Metern zählt; aber sie geben uns doch nur eine ganz unzulängliche Vorstellung von der ungeheuern Großartigkeit der

Denudationserscheinungen, wie sie in Wirklichkeit stattgefunden haben. Um nur von diesen Rechenschaft zu geben, müssen wir an die früher erwähnte Thatsache anknüpfen, daß in vielen Fällen die Gipfel hoher Berge durch die untersten Muldenteile synklinaler Falten gebildet werden (s. Abbild., S. 496). Es ist also hier nicht nur der Gipfel durch Erosion aus einer ursprünglich in demselben Niveau gelegenen Masse herausgearbeitet, sondern dieselbe Gesteinspartie, die wir heute eine gewaltige Hochzinne krönen sehen, scheint durch ihren geologischen Bau ursprünglich geradezu zur Sohle eines Synklinalthales bestimmt und war von weit höheren Gewölben umgeben und überragt, die durch Denudation spurlos verschwunden sind. Unter diesen Umständen können wir mit Heim ganz übereinstimmen, wenn er sagt, daß die jetzige Oberflächengestalt der

Das Matterhorn bei Zermatt im Kanton Wallis. (Nach Photographie.) Vgl. Text, S. 496.

Alpen vorwiegend ein Werk der Denudation ist, und seine Schätzung bleibt eher hinter der Wahrheit zurück, als daß sie für Übertreibung gehalten werden dürfte, wenn er, zunächst für die Zentralalpen, annimmt, daß das Volumen des jetzigen Gebirges über dem Meeresniveau nur sehr wenig größer sei als das Volumen dessen, was schon durch Abtragung vernichtet ist. Ganz richtig bemerkt Heim: „Könnten wir alle die in gleicher Zeit an verschiedenen Stellen herunterfallenden Steine an eine Stelle zusammendrängen, sie würden aus den Alpen allein einen unaufhörlichen, Tag und Nacht, jahraus jahrein fortgehenden großen, donnernden Bergsturz bilden."

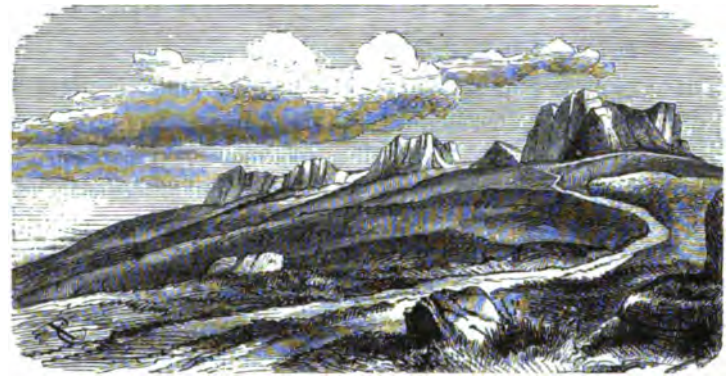
Man darf jedoch nicht denken, daß die Alpen wirklich jemals doppelt so hoch gewesen seien wie heute, und daß der Montblanc den Gaurisankar und Kantschindschinga im Himalaja übertroffen habe. Zwar mögen die Alpen in der Pliocän- und Diluvialzeit nicht unbedeutend an Höhe verloren haben, aber die Denudation hat vom ersten Beginn der Aufrichtung an ununterbrochen gewirkt, die Alpen waren also, wie jedes Gebirge, schon von Anfang an eine Ruine. Die Erfahrungen an den Alpen lassen es auch als gerechtfertigt erscheinen, wenn wir



The Devils Slide („Des Teufels Rutſchbahn") im Utahgebirge, Nordamerika. (Nach Clarence King.)
Vgl. Text, S. 499.

wenig hervorragende Berggruppen mit gerundeten Rücken, aber stark gestörtem Schichtenbau, deren Aufrichtung in eine weit frühere geologische Periode zurückreicht, wie z. B. das bayrisch-böhmische Grenzgebirge, als die sehr viel stärker denudierten Reste eines alpinen Hochgebirges aus früher Vorzeit betrachten.

Wenn wir ein hochgebirgiges Land mit einer niedrigeren Bergregion vergleichen, so fallen sofort in dem ersteren die größere Zerrissenheit der Kämme und Gipfel, die schroffere Begrenzung der Thäler, die größere Menge der Schuttmassen auf; kurz, jeder Blick zeigt uns, daß hier die Erosion in ungleich energischerer und kräftigerer Weise wirkt als in flacheren Regionen. In erster Linie ist dies durch den Umstand bedingt, daß in den alpinen Kettengebirgen die Thäler noch unfertig sind, daß ihr Oberlauf noch sehr stark geneigt ist, das Wasser also mit außerordentlicher Energie angreift und dadurch naturgemäß auch für alle anderen Denudationsvorgänge eine steile Böschung geschaffen wird. Es gesellt sich dazu aber noch ein zweiter Umstand: durch die stärkere Erhebung erhalten die Hochregionen größere Niederschlagsmengen, sie sind stärkeren Temperaturschwankungen und namentlich einem Hauptagens der Verwitterung, häufiger Frostwirkung, ausgesetzt. In der voralpinen Region liegt die Zone der größten Häufigkeit im Wechsel von Tau und Frost in einer Höhe von etwa 1200 m, im hochalpinen Gebiet etwa 1450 m hoch. Die Häufigkeit dieses Temperaturwechsels ist in den Maximalzonen nahezu doppelt so groß als am Fuße des Gebirges. Daher kommt es, daß die Steigerung der Erosion mit zunehmender Erhebung unter dem Einfluß der bezeichneten Agenzien nicht nur in einfachem Verhältnis mit der relativen und absoluten Höhe, sondern in noch stärkerem Maße stattfindet. Die Erosion hat das Bestreben, alles auf ein normales, mit der Entfernung vom Meere gleichmäßig ansteigendes Niveau zu erniedrigen. Was stark über dieses Normalniveau hervorragt, verfällt rascher Zerstörung. Allerdings sind es nicht nur die Höhenverhältnisse, wodurch die Intensität der Erosion der Gesteine bedingt wird, sondern selbstverständlich auch die Widerstandskraft der Felsarten. In derselben Niveaulage, in der ein plastischer Thon, ein loser Sand, ein bröckeliger Schiefer rascher Vernichtung anheimfällt, wird ein zäher Quarzit ziemlich wenig berührt werden und, bei steiler Schichtstellung, wie eine kompakte Quarzmasse aus seiner Umgebung hervorragen (s. obige Abbildung und die auf S. 498). Überhaupt fällt es einem einigermaßen geübten Auge nicht schwer, fast in jeder Landschaft die Gesimse, Vorsprünge, Verwitterungsterrassen ꝛc. sofort zu erkennen, die der geringeren Zerstörbarkeit einzelner Felsarten zuzuschreiben sind.



Die „Stipperstones" in England. (Nach Murchison.)

In dieser Weise werden die hoch emporragenden Rindenteile der Erde, die Gebirge, in erster Linie von der Zerstörung betroffen, und bei der unermeßlichen Dauer der geologischen Zeiträume verschwinden alle höheren Gebirge; sie werden zu flachem, welligem Hügelland niedergehobelt, und selbst dieses, ja überhaupt jedes Relief würde aufhören, wenn die Gebirgsbildung nicht an einer anderen Stelle neue Ketten emportürmte. Den Beweis dafür, daß in der That alle Gebirge

in einer, geologiſch geſprochen, kurzen Zeit demoliert werden, liefert ſchon der eine Umſtand, daß alle ſehr hohen und bedeutenden Ketten, die ihre Umgebung ſehr bedeutend überragen, geologiſch jung ſind und in ſpäter Zeit, in der Regel im Laufe der Tertiärzeit, noch bedeutende Aufrichtungsbewegungen erfahren haben. Das gilt von den Alpen, Apenninen, Karpathen, den Pyrenäen, den alpinen Ketten der Balkanhalbinſel, dem Kaukaſus, dem Himalaja, den Anden ꝛc. Alte Berggruppen dagegen, in denen ſeit längeren Perioden keine Aufrichtung mehr vorgekommen iſt, erreichen keine bedeutende Höhe, obwohl eine ſolche nach der Stärke der geologiſchen Störungen erwartet werden ſollte. Sie beſitzen keinen deutlichen Kettenbau, ſondern meiſt gerundete Formen; es ſind die ſogenannten „alten Maſſen", wie der Böhmerwald, der Schwarzwald, die Vogeſen, das Zentralplateau von Frankreich ꝛc., in denen wir die Ruinen ehemaliger gewaltiger, hoch aufragender Bergketten erkennen.

Karſtbildung.

Sehr eigentümliche Erſcheinungen zeigen ſich in den Gebieten, die ganz oder zum größten Teil aus großen Maſſen *reiner Kalke* und *Dolomite* beſtehen; zwei Eigenſchaften dieſer Geſteine bedingen eine abweichende Terraingeſtaltung: ihre bedeutende Zerklüftung und ihre verhältnismäßig bedeutende Löslichkeit in kohlenſäurehaltigem Waſſer. Die nächſten Folgen davon ſind, daß einerſeits das Waſſer der atmoſphäriſchen Niederſchläge leicht in die Tiefe verſinkt und daher die Zirkulation großenteils *unterirdiſch* ſtattfindet, anderſeits, daß die *chemiſche* Zerſtörung und Wegführung nicht nur an der Oberfläche, ſondern auch in der Tiefe eine ſehr bedeutende Rolle ſpielt und die Wirkung der *mechaniſchen* Zerſtörung unter günſtigen Verhältniſſen ganz weſentlich übertrifft.

In welchem Grade dieſe Eigentümlichkeiten Platz greifen, hängt allerdings in hohem Maße von der Stärke der Zerklüftung wie von der Lagerung der Schichten und den äußeren Terrainformen ab. Wo Kalke ſtark aufgerichtet ſind, ſtark geneigte Gehänge beſitzen und zur Bildung von Bergketten mit ſcharfer Kamm- und Gipfelbildung hinneigen, da iſt am wenigſten Gelegenheit gegeben, die Eigentümlichkeiten des Kalkterrains hervorzukehren. Die ſtarke Neigung befördert und erleichtert den oberflächlichen Ablauf des Waſſers ſowohl als den mechaniſchen Transport von Geſteinsfragmenten und beeinträchtigt das Verſickern und die chemiſche Einwirkung durch die Schnelligkeit des Abfluſſes. Immerhin treten auch hier manche auffallende Erſcheinungen auf, unter denen die Bildung der ſogenannten *Karren* oder *Schratten* hervorgehoben zu werden verdient. Wo das Waſſer der atmoſphäriſchen Niederſchläge über geneigte Flächen, namentlich Schichtflächen, von reinem kompakten Kalk abläuft, folgt es den für den Ablauf günſtigſten Linien. Es löſt dabei etwas von dem Kalk auf, und um ſo ſicherer wird ſpäterhin das Waſſer immer wieder denſelben Weg einſchlagen und dieſe Kanäle immer tiefer ausnagen. Dieſer Prozeß wird ſich da am günſtigſten entwickeln, wo Waſſer, über eine große Fläche gleichmäßig verteilt, langſam abläuft und den Boden beſtändig feucht erhält. Dieſe Bedingungen ſind vor allem bei Schneefeldern in der Nähe der Schneelinie gegeben, die ſich bis ſehr ſpät im Jahre erhalten. Hier werden die Kanäle außerordentlich eng und ſcharf, mit ſenkrechten Wänden, 1—2, ja, wie berichtet wird, in einzelnen Fällen ſogar 6—10 m tief eingeſchnitten. Die einzelnen Rinnen liegen dicht nebeneinander und verlaufen parallel bergab, in der Regel nur durch ſchmale, oft geradezu meſſerartig ſcharfe Kalkrippen voneinander getrennt. Dieſe im höchſten Grade wilden und phantaſtiſchen „Schratten- oder Karrenfelder", die bei Bergwanderungen zu den unangenehmſten Partien gehören, ſind namentlich in den Kreidekalken der Vorarlberger und der Schweizer Alpen ſehr entwickelt, finden ſich aber auch ſonſt vielfach in Gegenden, die geeignete Verhältniſſe

bieten. Man hat geglaubt, daß für diese mächtige Erosion große Wassermassen notwendig seien, und wollte daher ihre Entstehung an das Ende der Eiszeit verlegen, wo die Schmelzung der Gletscher ungeheuer große Wassermassen liefern sollte; man hat jedoch diese Ansicht verlassen, namentlich seitdem die Beobachtungen von Fugger und Kastner am Untersberge bei Salzburg bewiesen haben, daß keine große Wassermenge zur Erzeugung von Karren nötig ist. Es zeigte sich nämlich in einem Steinbruch bei Abräumung einer Kalkbank, daß die bloßgelegte Schichtfläche, die in diesem Augenblick zum erstenmal an die Luft kam, schon mit Karren bedeckt war. Es hatten also die geringen Mengen von Sickerwasser, die in der Fuge zwischen zwei Schichten ablaufen, schon zu deren Hervorbringung genügt. Es ist ferner eine sichergestellte Thatsache, daß auch in vielen regenarmen Ländern echte Karrenbildungen vorkommen, so vor allem im ganzen adriatischen Karstgebiet, im Libanon, im Peloponnes, in Sizilien, in den Bergen von Toulon ꝛc. In allen diesen Gebieten treten die Karren auf reinem, kompaktem Kalkstein auf, dagegen fehlen sie stets auf bituminösem und mergeligem Kalkstein, ein Beweis, daß es nicht die Niederschlagsmenge, sondern die chemische Beschaffenheit des Kalksteins ist, von der die Karrenbildung abhängt.

In Kalkgebieten, deren Gehänge nicht steil genug sind, als daß sie ein rasches Abfließen des Wassers ermöglichten, ist die auslaugende und auflösende Thätigkeit besonders intensiv: sie äußert sich durch die Bildung von Felstrichtern und Kesseln, von Höhlen, unterirdischen Flußläufen und Wasserbecken. Diese Erscheinungen treten auch im eigentlichen Hochgebirge auf, wo dieses in seinen kulminierenden Partien nicht zur Kamm- und Spitzenbildung, sondern zur Plateauentwickelung neigt, z. B. in der großen Zahl von hohen Kalkmassen, die sich vom Steinernen Meere bei Berchtesgaden durch das Salzkammergut, durch Ober- und Niederösterreich bis zur Rax-Alpe südlich von Wien aneinander reihen. In einem Gebiet von horizontal gelagertem Kalk, wie es z. B. die Höhe des fränkisch-schwäbischen Jurazuges oder die silurischen Kalktafeln der russischen Ostseeprovinzen darstellen, versinkt das Wasser in Spalten und sucht sich unterirdisch seinen Weg. Es benutzt hierzu die natürliche Zerklüftung, die den Kalken so häufig eigen ist; wo aber durch tektonische Veränderungen der Zusammenhang des Gesteins in ausgiebiger und auf eine größere Strecke zusammenhängender Weise gelöst ist, wo Verwerfungen auftreten, werden diese mit Vorliebe als Weg benutzt, und so erklärt es sich, daß sich die verschiedenen Trichter, Höhlen ꝛc. verhältnismäßig häufig an Verwerfungen knüpfen. Die nächste Wirkung, die das Wasser auf seinem unterirdischen Weg übt, ist die Erweiterung seines Bettes, die Vergrößerung der Spalten; an einzelnen Stellen geschieht dies in besonders energischer Weise, es entstehen dadurch größere Hohlräume, die berühmten Höhlen der Kalkgebiete, die in so vielen Gegenden, z. B. in Franken in der Umgebung von Muggendorf, in den Devonkalken Mährens, in den Caussés der Cevennen und in vielen anderen Gegenden, am schönsten in den sogenannten Karstdistrikten von Krain, Istrien und Dalmatien vorkommen.

Die Beschaffenheit dieser Höhlen ist außerordentlich verschieden, sowohl in ihrer ganzen Anlage als in den Einzelheiten ihrer Ausbildung. Manche von ihnen, namentlich in den Karstregionen, sind durch Auslaugung gebildete unterirdische Flußläufe, echte Erosionsthäler, die nur insofern abweichend ausgebildet sind, als sich die beiden Thalwände über dem Fluß in der Höhe wieder zusammenschließen und ihn überwölben. Ein ausgezeichnetes Beispiel dieser Entwickelung ist z. B. die Planinagrotte in Krain, die das Bett des Poikflusses darstellt. Andere Höhlen haben größere Breite bei geringer Länge; oft mündet ein Fluß oder eine unterirdische Wasserader in die Grotte und fließt am Boden hin, bisweilen staut sich das Wasser darin und bildet ein Reservoir, einen unterirdischen See. Oft aber hat sich auch der Wasserlauf, der die Grotte ausgehöhlt hat, neue Bahnen geöffnet und sein altes Bett verlassen; dann finden wir die Höhle trocken. Sickert in eine solche von oben mit Kalklösung beladenes Wasser ein, so schmückt

ſie ſich mit den wunderbaren Tropfſteinbildungen, deren Entſtehung wir bei einer ſpäteren Gelegenheit kennen lernen werden.

Dieſe Höhlen des Kalkgebirges haben teilweiſe in früherer Zeit zahlreichen Generationen von Raubtieren zur Stätte gedient; wir finden darin oft in ungeheurer Menge die Knochen dieſer Bewohner zuſammen mit denjenigen der Tiere, die ſie als Beute in ihre Schlupfwinkel geſchleppt haben. In manchen haben ſich auch in früherer Zeit Menſchen, noch unkultivierte Ureinwohner, häuslich eingerichtet; wir finden dann ihre rohen, aus Feuerſtein, Hirſchhorn, Knochen und ähnlichem Material gearbeiteten Werkzeuge und Waffen zuſammen mit den Reſten ihrer

Karte der Dolinenlandſchaft von Storje im Trieſtiner Karſt. Maßſtab 1 : 25,000. (Nach der offiziellen öſterreichiſchen Aufnahme.) Vgl. Text, S. 503.

Mahlzeiten. Um dieſe verhältnismäßig geſchützten Wohnungen hat, wie es ſcheint, ein erbitterter Kampf ſtattgefunden zwiſchen den Menſchen und den Raubtieren jener Zeit, dem Höhlenlöwen, der gewaltigen Höhlenhyäne und dem rieſigen Bären. Räumt man den Knochenlehm vorſichtig und ſchichtweiſe vom Höhlenboden ab, ſo ſieht man, daß eine und dieſelbe Grotte im Verlauf der Zeit von verſchiedenartigen Bewohnern eingenommen war; oft hat der Menſch die Hyäne oder den Bären verdrängt, aber auch umgekehrt iſt oft der Menſch in dem Kampfe unterlegen.

An der Oberfläche bilden die auffallendſte und häufigſte Erſcheinung die ſogenannten Karſttrichter oder Dolinen, meiſt ſchüſſelförmige, ſeltener ſchachtartige Vertiefungen, deren Durchmeſſer zwiſchen 10 und 1000, deren Tiefe zwiſchen 2 und 100 m ſchwanken kann. Ihre Entſtehung bringt es mit ſich, daß ſie namentlich die wenig geneigten oder horizontalen Flächen bevorzugen, im übrigen iſt aber ihre Anordnung in der weitaus überwiegenden Mehrzahl der Fälle regellos; nur ſelten kann man eine lineare Anreihung feſtſtellen. Sie tragen weſentlich dazu bei,

der Karstlandschaft ihr bezeichnendes Gepräge zu verleihen. Oft treten sie so dicht gedrängt auf, daß man ihrer 40—50 auf einem Quadratkilometer zählen kann, und die ganze Oberfläche wie blattersteppig erscheint (s. das Kärtchen, S. 502). Kahle Steinwüsten mit wenig hervortretender Plastik, stark zerklüftete, scharfkantige Felsen mit Karren oder mit vertikalen, unregelmäßigen Löchern besetzt, bilden das Land zwischen den Dolinen (s. untenstehende Abbildung), und es bleibt oft nur diesen überlassen, die Einförmigkeit des traurigen Landschaftsbildes zu unterbrechen.

Die Mehrzahl der Dolinen, namentlich die kleinen, schüsselförmigen echten Dolinen, stellen reine Oberflächengebilde dar, die nach unten abgeschlossen sind und nur in schmalen Klüften und Fugen eine Fortsetzung gegen innen finden. Dies lehrt der unmittelbare Augenschein an

Der Karst bei St. Canzian. (Nach Photographie.) Vgl. Text, S. 509.

Stellen, wo Dolinen aufgeschlossen sind, wie in Eisenbahneinschnitten oder in Bergwerken. Neben diesen Formen kommen auch steilwandige, schacht- oder brunnenartige Vertiefungen vor, von denen einzelne in blind endende kleinere Höhlen führen. Ihr Boden ist mit eingeschwemmt[illegible] oder von den Wänden abgebröckeltem Material bedeckt, und es gehören demnach auch diese Erscheinungen zu den nach unten abgeschlossenen Dolinen. In anderen, der Zahl nach freilich sehr zurücktretenden Fällen führen solche steilwandige Schlote in das System der unterirdischen Flußläufe und Hohlräume. Hierbei besteht die Verbindung bald aus Kammern, die nur durch schmale Spalten kommunizieren, wie bei der Trebičgrotte bei Triest, bald geht ein breiter, offener Schacht bis zum Wasserlauf nieder, wofür der Erdfall der Macocha bei Brünn ein Beispiel liefert.

Erscheinungen der letzteren Art sind wohl zumeist durch Einbruch gebildet, wie die mächtigen Trümmerhalden am Boden solcher Naturschächte beweisen. Von solchen Vorkommnissen ausgehend, hat man die Entstehung der Dolinen überhaupt auf das Hinabbrechen der Decke in unterirdische Hohlräume zurückführen wollen, und manche Forscher halten auch heute noch an dieser Anschauung fest. Man stützt sich hierbei auf Fälle aus dem istrisch-krainischen Karst, wo Häuser mit allen ihren Bewohnern plötzlich in den Abgrund gerissen worden sind. Ferner wird auf einen

Bericht Pilars aus der ehemaligen kroatischen Militärgrenze großer Wert gelegt: „An manchen Stellen gehen diese Veränderungen so rasch von statten, daß mancher Grenzerjüngling, der nach einigen Dezennien sein Vaterland wiedersah, wohl sagen konnte, es sei durch Neubildung von Trichtern gar nicht mehr zu erkennen gewesen. Häuser mußten infolge von Erdstürzen verlassen werden, Obstgärten, die bestanden hatten, waren nicht mehr, und neue Saumwege waren gebahnt, da die früheren unwegsam geworden." Nun hat man aber auf Grund eingehender Untersuchungen gefunden, daß die erstgenannten Fälle ganz unsicher sind, und was den Bericht Pilars betrifft, so bezieht er sich nicht auf Fels-, sondern auf Schwemmlanddolinen. Wo nämlich auf dem Kalkstein eine mächtige Decke von diluvialem nnd alluvialem Sand und Lehm ausgebreitet ist, bilden sich in dem losen Material nicht selten scharfrandige, schüsselförmige Vertiefungen, die Schwemmlanddolinen, deren Entstehung leicht zu begreifen ist: wenn unter dem Lehm eine Spalte durch chemische Erosion des Wassers stark erweitert, oder eine verschlämmte Spalte wieder ausgespült wird, ist die darüberliegende lockere Masse ihres Haltes beraubt und sinkt nach. Bei jedem großen Regenguß oder zur Zeit der Schneeschmelze können diese Erscheinungen eintreten, und daraus erklären sich die häufigen Veränderungen dieser Schwemmlanddolinen. Natürlich haben diese Erscheinungen keine Beweiskraft für die Bildung der Felsdolinen durch Einsturz.

In zwei Fällen ist es gelungen, unterirdische Blockmassen in Höhlen mit Dolinen an der Oberfläche in Zusammenhang zu bringen. Bei der Erforschung der Krainer Höhlen nahm man ihren Grundriß auf und verglich ihn mit der Oberfläche: es zeigte sich dabei, daß zwei Anhäufungen von Blöcken in der Adelsberger Grotte genau unter Dolinen lagen, die sich im Walde fanden. Daß die Einbrüche nicht immer, wie man voraussetzen sollte, die Schachtform annehmen, kann aus dem Umstand erklärt werden, daß die Gesteinsbruchstücke infolge ihres lockeren Gefüges mehr Raum einnehmen als ursprünglich die zusammenhängende Masse. Wenn daher der Hohlraum nicht sehr groß ist, wird nicht nur er selbst, sondern auch ein großer Teil des Naturschachtes mit dem Bruchmaterial erfüllt, und auf der Oberfläche entsteht eine verhältnismäßig unbedeutende Vertiefung. Einen wesentlichen Halt findet diese Anschauung durch Beobachtungen an verlassenen Bergwerken, deren innere Hohlräume nicht mehr gestützt werden; es kommt zu Einstürzen, die sich auf der Oberfläche ebenfalls als gerundete, trichterförmige Einsenkungen zu erkennen geben. Bei Einstürzen der Decke in verlassenen Strecken von Kohlenbergwerken wurde wahrgenommen, daß der vorhandene ausgehöhlte Raum wegen der mit der Zertrümmerung verbundenen Volumenvergrößerung gänzlich ausgefüllt wird, so daß zunächst ein weiteres Nachbrechen nicht mehr möglich ist. Später aber schieben sich die Bruchstücke infolge des Druckes der darauf lastenden Schichten ineinander, und nun bildet sich durch das Nachsinken der Decke auf der Oberfläche eine trichterförmige Vertiefung, eine Art Doline. Wenn man von dem Umstand absieht, daß es sich in den letztgenannten Fällen, in Bergwerken, vorwiegend um biegsame Gesteine handelt, der harte, spröde Kalk der Karstgebiete dagegen wohl ein anderes Verhalten zeigen dürfte, wird man zugeben können, daß sowohl steilwandige tiefe Naturschächte als auch echte Dolinen durch Einsturz entstehen können und in vielen Fällen auch thatsächlich entstanden sind.

Allgemein ist aber dieser Vorgang gewiß nicht, denn es müßte die Unterhöhlung des Karstbodens, wenn sie der Verbreitung der Dolinen entsprechen sollte, ebenfalls eine allgemeine sein und dies trifft in Wirklichkeit nicht zu. Ferner zeigen die oben mitgeteilten Beobachtungen an durchschnittenen Dolinen, daß eine Verbindung mit Höhlen durchaus fehlt. In Wirklichkeit sind es nicht so sehr Einstürze, als vielmehr die Wirkungen der oberflächlichen Erosion, die unter den besonderen Verhältnissen der Karstgebiete die echten Dolinen hervorrufen. Durch den Wechsel von Erwärmung und Abkühlung und durch tektonische Vorgänge bilden sich im Kalkstein zahllose vertikale und horizontale Klüfte und Fugen, die von dem ungehindert einsickernden Wasser durch

Auflösung des Kalksteins zu Röhre umgewandelt und immer mehr erweitert werden; die Fugen werden zu einem Schlund, der das Oberflächenwasser aufnimmt, und durch die abspülende, chemische und mechanische Thätigkeit des in den Schlund ablaufenden Wassers wird schließlich die Trichterform der Doline ausgebildet. Da das Vorhandensein von Spalten eine Voraussetzung für die Entstehung von Dolinen bildet, ist es erklärlich, daß diese zuweilen an Bruchlinien gebunden und reihenförmig angeordnet sind.

Es stellen also die echten Dolinen eine den sogenannten geologischen Orgeln nahe verwandte Erscheinung dar. Unter den letzteren versteht man cylindrische, trichter- oder sackförmige Vertiefungen in mergeligem Kalkstein oder in der Kreide, die von Zersetzungsprodukten oder von lockeren, jüngeren Ablagerungen erfüllt sind und ebenfalls durch die zersetzende und auflösende Thätigkeit des in Klüften vordringenden Wassers entstehen. Daß die geologischen Orgeln stets kleiner sind als die Dolinen, hat seinen Grund darin, daß die mergeligen Kalke nicht so stark zerklüftet sind als die starren Kalke der Karstgebiete, und daher dem Wasser keinen so freien Zutritt gewähren, und darin, daß die viel reichlicheren Zersetzungsprodukte oder die auflagernden sandigen oder thonigen Bildungen einem weiteren Vordringen der Zerstörung Einhalt thun.

Das Versinken des Wassers in Spalten findet in Karstgebieten so allgemein statt, daß es nur selten zur Ausbildung normaler Flußläufe kommt; an ihre Stelle treten blinde und trockene Thäler. Am häufigsten verschwindet das Wasser an den Stellen, an denen die aus undurchlässigen Gesteinen kommenden Flüsse in das Kalkgebiet eintreten; aber auch in den Betten normaler Karstflüsse bilden sich Schlundlöcher, die „Ponore", wie sie im Karst, „Katavothren", wie sie in Griechenland genannt werden, die das Wasser vollständig aufsaugen und die Entstehung von blinden Thälern bedingen. Da bei allen Karstflüssen die Tendenz besteht, die Sauglöcher nach oben zu verlegen, so werden dadurch die unteren Teile der blinden Thäler in trockene oder tote Strecken verwandelt. Auch durch den Einsturz der Decke unterirdischer Höhlengänge und Flußläufe können blinde Thäler entstehen, wie z. B. das kurze Rackthal bei St. Canzian, in welchem sich zwei stehengebliebene Naturbrücken als Zeugen jenes Vorganges bis auf den heutigen Tag erhalten haben. Setzt sich der Einsturz entlang dem ganzen unterirdischen Flußlauf fort, so verwandelt sich dieser in einen oberirdischen Fluß, und es entsteht ein vollständiges Durchbruchthal, wie schon im vorhergehenden Kapitel erwähnt wurde.

In den Karstgebieten der gefalteten Gebirge kommt zu den beschriebenen Erscheinungen noch eine weitere sehr merkwürdige Eigentümlichkeit hinzu: Kesselförmige, rings geschlossene Einsenkungen, „Polje", wie sie die slawischen Einwohner des Karstes nennen, Einsenkungen, deren Gehänge sich gegen die breite Sohle scharf absetzen, und die eine dem Schichtstreichen gleichlaufende Längserstreckung besitzen. Die Größe dieser Kesselthäler ist sehr verschieden; manche sind nicht viel größer als die größten Dolinen, andere dagegen nehmen eine Fläche bis zu 300 qkm ein, wie das Livanjsko Polje in Westbosnien. Die meisten dieser Poljen sind periodischen Überschwemmungen unterworfen: zur Zeit der Schneeschmelze, während der Winter- und Herbstregen, unter Umständen auch nach jedem heftigen Regenguß, sprudelt das in höheren Teilen des Karstes versunkene Wasser aus mächtigen Quellen und Speilöchern am Grunde oder an den Seiten des Kesselthales hervor, und setzt, vermehrt durch oberirdische Zuflüsse oder unterirdische Flußläufe, die Thalsohle unter Wasser. Die Entwässerung vollzieht sich durch eine Anzahl von Sauglöchern, die das Wasser in ein überaus verwickeltes System von unterirdischen Kammern und Spalten ableiten. Wenn nun die Sauglöcher und das unterirdische Kammersystem dem zeitweilig enorm gesteigerten Wasserzufluß nicht angepaßt sind, kommt es periodisch zu vollständigen Überschwemmungen, und es hängt dann von dem Fassungsraum der Saugspalten, namentlich aber der oft sehr schmalen Verbindungsstücke des inneren Kammersystems ab, wie solche Überschwemmungen verlaufen.

Die höchstgelegenen Poljen haben nur eine verhältnismäßig geringe Wassermenge aufzunehmen, die sie leicht an die tieferen abgeben können; sie sind daher meist trocken oder werden nur sehr selten überschwemmt; die tiefsten dagegen empfangen von den höher gelegenen so viel Wasser, daß sie dauernd mit Wasser bedeckt sind, wie der Vrana-See auf der Insel Cherso und der gleichnamige See bei Zara Vecchia. Zu den periodisch inundierten gehört der vielgenannte Zirknitzer See, der mit dem höher gelegenen Polje von Laas und dem tiefer gelegenen von Planina in Verbindung steht und mit diesen an eine und dieselbe Verwerfungslinie gebunden ist. Ein starkes Regenwetter vermag das ganze Zirknitzer Seebecken in 2—3 Tagen, bei besonderer Heftigkeit selbst in 24 Stunden zu füllen; zur Entwässerung sind dagegen 14—25 Tage nötig, und aus den tiefsten Tümpeln fließt das Wasser überhaupt niemals ganz ab. Das Wasser des Zirknitzer Sees erscheint nach einem unterirdischen Laufe von 2400 m als Rackbach in dem tiefen blinden Einsturzthal von St. Canzian in Krain; auch der Rackbach verschwindet wieder, und sein Wasser ergießt sich teils in das Polje von Planina, teils dürfte es sich mit der Poik vereinigen. Ähnlich liegen die Verhältnisse bei dem Kopais-See und dem Kesselthal von Tripolis in Griechenland, bei den Poljen der Jonischen Inseln, Bosniens und der Herzegowina, und bei vielen anderen. Wenn das normale Verhältnis zwischen Zu- und Abfluß, sei es durch überaus große Vermehrung des atmosphärischen Niederschlags, sei es durch das Verstopfen der Sauglöcher, gestört wird, kann die Dauer der Überschwemmungen erheblich verlängert werden. So kommt es, daß beim Zirknitzer See, bei dem im Jahre gewöhnlich zwei- bis dreimal Hochwasser und ebenso viele Entwässerungen vorkommen, eine Überschwemmungsperiode ausnahmsweise selbst 2—3 Jahre anhält. Natürlich greifen derartige Ereignisse tief in das Schicksal der ohnehin armen und hart bedrängten Bevölkerung der Karstgebiete ein, und man ist daher namentlich im österreichischen Karst bestrebt, durch künstliche Erweiterung der inneren Abflußwege eine Sicherung gegen solche vernichtende Katastrophen zu schaffen, während man in Griechenland begonnen hat, große Seepoljen, wie den Kopais-See in Böotien, durch oberirdische Kanäle zu entwässern, und den Seeboden und die fieberbrütenden Sümpfe in fruchtbares und gesundes Kulturland zu verwandeln.

Die nunmehr vollendeten Arbeiten am Kopaissee haben in mehrfacher Beziehung interessante Aufschlüsse ergeben, so daß es sich wohl verlohnt, einen Blick darauf zu werfen. Der See bestand, so lange er überhaupt vorhanden war, nur während der nassen Jahreszeit, im Winter und im Frühjahr. Fünf größere Flüsse, darunter der wasserreiche Melas und der Kephissos, führten dem Becken fortwährend Wasser zu, während die Entwässerung durch 25 größere Katavothren und mehrere kleinere Spalten vorgenommen wurde. Der Abfluß des Kopaisbeckens richtete sich nach Osten und ergoß sich bei Skroponeri und Larymna in das Meer. Mit dem Kopaisbecken standen in unterirdischem Zusammenhang der Likeri- und Paralimni-See, deren Wasserspiegel dem Steigen und Fallen des Kopaissees folgte. Schon im grauen Altertum, zuerst von den Minyern, später zur Zeit Alexanders des Großen, wurde der Versuch unternommen, die Niederung zu entwässern, und zwar zunächst, indem man das Wasser durch ein System von Kanälen und Deichen in die Katavothren leitete. Da sich aber die Katavothren wiederholt verstopften, begann man in einer späteren Zeitperiode, über die die alten Schriften leider keine Auskunft geben, künstliche Durchstiche zu machen, deren Spuren, ebenso wie die Arbeiten der Minyer, bei den modernen Entwässerungsarbeiten entdeckt wurden.

Es ist nun gewiß merkwürdig, daß die moderne Entwässerung nichts anderes als eine Kombination der minyschen und der späteren Arbeiten des Altertums bildet, natürlich eine unbewußte, denn die Reste dieser alten Kulturwerke wurden, wie bereits bemerkt, erst während der neuen Arbeiten gefunden. Sie besteht in einem Kanalisationssystem des Sees und aus der Schaffung von Tunnels und Einschnitten, die den Abfluß des Wassers in den Likeri- und

Paralimni-See und von da in das Meer gestatten. Nur das Wasser des Melas wurde nach wie vor der Großen Katavothre zur Abfuhr überlassen. Man hat so in der That nicht weniger als 25,000 Hektar des fruchtbarsten Bodens neu gewonnen, und die günstige Wirkung auf die Gesundheitsverhältnisse der Gegend ist nicht ausgeblieben.

Über die Entstehung der Kesselthäler sind verschiedene Ansichten ausgesprochen worden. Man betrachtete sie als Thäler, die schon zu einer Zeit gebildet worden sind, als die Faltung noch nicht beendet war. Von den Flüssen nicht bewältigte Aufwölbung im Unterlauf schuf Querriegel, wodurch die Flüsse in Kesselthäler umgewandelt, die Wässer zu Seen gestaut wurden. In der That finden wir in Bosnien, Dalmatien ꝛc. in vielen solchen Kesseln die molluskenreichen Ablagerungen jungtertiärer Binnenseen. Der Umstand, daß diese Beckenfüllungen Dislokationen erkennen lassen, führt zu der Vermutung, daß die später eingetretenen Brüche die Bildung der unterirdischen Höhlungen begünstigt haben, durch die das Wasser jener geschlossenen Becken seinen Abfluß genommen hat. Für die Katavothren Griechenlands kann aber diese Erklärung nicht gelten, denn diese geben sich unzweideutig als *Kesselbrüche* zu erkennen.

Auch außerdem zeigen die Wasserverhältnisse der Kalkplateaus an der Nord- und Ostküste der Adria viele sehr merkwürdige Erscheinungen. Sehr einfach erklärt sich das plötzliche Verschwinden von Flüssen in Höhlen oder das Austreten bedeutender Wassermassen aus solchen; ein Phänomen dagegen, das noch immer einigermaßen rätselhaft erscheint, ist das der sogenannten *Meermühlen* von Argostoli auf der Jonischen Insel Kephalonia, das allerdings nicht ganz isoliert dasteht, sondern in schwächerer Entwickelung auch in der Nähe von Fiume und wohl auch an anderen Punkten der Küste vorkommt. Auf Kephalonia bemerkte man, daß Meerwasser an einigen Punkten des Festlandes in Öffnungen im kalkigen Boden einströmt und versinkt, die nahe der Küste, aber etwas tiefer als der Meeresspiegel gelegen sind. Man vertiefte künstlich einzelne der Rinnen, in denen das Salzwasser landeinwärts strömt, und hieb an der Stelle, wo es in den Grund versinkt, größere Bassins in den Felsen; dadurch wurde die Menge des einströmenden Wassers erheblich vermehrt, so daß es jetzt an zwei Punkten Mühlräder zu treiben im stande ist; diese beiden Stellen verschlucken jährlich 200 Millionen Kubikmeter Meerwasser, das spurlos in die Tiefe versinkt. Man hat die verschiedensten Versuche gemacht, zu erklären, wohin dieses Wasser gerät; man hat gedacht, daß es irgendwie nach vulkanischen Herden abfließe und dort verdampfe, oder man hat angenommen, daß durch energische Verdunstung der Grundwasserspiegel auf Kephalonia auf tieferem Niveau erhalten werde als das Meeresniveau, so daß von diesem aus ein Zufluß ins Innere stattfinden kann. Allein keine dieser Annahmen hat sich als genügend erwiesen; die meiste Wahrscheinlichkeit hat die wohl von Wiebel gegebene Deutung, daß man es mit der Saugwirkung einer unterirdisch abfließenden Quelle zu thun habe.

Als eine stete Gefolgeerscheinung der Dolinen in Kalkgebieten findet sich der *rote Lehm*, die *Terra rossa*, deren Entstehung als Auslaugungsprodukt mariner Kalke wir oben (S. 453) kennen gelernt haben. Sie sammelt sich überall da an, wo sie vor der Abschwemmung durch die Terrainverhältnisse geschützt ist, und in besonderer Menge wird sie in Vertiefungen, in den Dolinen, zusammengeführt. In manchen der steinigen und unfruchtbaren Karstgebiete an der Ostküste der Adria bilden die Ansammlungen des roten Lehmes auf dem Grunde der Vertiefungen sogar weithin den einzigen fruchtbaren Boden, den die Bevölkerung bebaut, und so kostbar ist dort die Terra rossa, daß oft genug ein armer Grundbesitzer nachts der Doline seines Nachbars einen Besuch abstattet, um eine Last Erde zu holen und in seinen Trichter zu tragen. Der große Reichtum an Eisen, der diesem roten Verwitterungsreste der Kalke eigen ist, wird häufig vom Wasser wieder ausgelaugt und gibt dann Anlaß zur Bildung von Eisensteinen, von Bohnerz und Rasenerz, die z. B. im Juragebirge und in Dalmatien so reichlich sind, daß sie in früherer Zeit, als

die Konkurrenzverhältniſſe des Eiſenmarktes noch keine ſo ſchwierigen waren, mit Gewinn ausgebeutet und verhüttet werden konnten.

Sehr häufig ſind die Kalkplateaus und ganz ſpeziell die Karſtländer äußerſt ſteril und arm an Pflanzenwuchs, vor allem an Wald (ſ. untenſtehende Abbildung). Man hat ſich vielfach daran gewöhnt, dieſen Mangel als unzertrennbar von den Karſterſcheinungen, ja ſogar als deren Urſache anzuſehen. Dieſe Annahme iſt jedoch irrtümlich. Es iſt bekannt, daß in früherer Zeit die öden und troſtloſen Karſtdiſtrikte mit dichten Wäldern bedeckt waren; allein ſeit zwei Jahrtauſenden ſind ſie in ſchonungsloſeſter Weiſe verwüſtet worden, ſie haben vor allem die Pfähle geliefert,

Karſtlandſchaft am Dugapaß bei Hodzina Poljana in Montenegro. (Nach Photographie von J. Wünſch.)

die, zu Millionen in den Laguneninſeln Venedigs eingerammt, die Prachtbauten dieſer Stadt tragen, und ſie haben das Bauholz für die Galeeren der meerbeherrſchenden Republik hergeben müſſen. Die Höhen Iſtriens und Dalmatiens ſind ſeit jener Zeit kahl und vegetationslos, aber waſſerarm waren ſie ſchon vorher, ſchon früher trugen ſie Dolinen, und ſchon früher verſanken ihre Flüſſe, Bäche und Quellen in unterirdiſchen Grotten. Den ſicheren Beweis dafür liefert der Umſtand, daß auch heute, namentlich in Krain, reichbewaldete Karſtdiſtrikte exiſtieren, die an Entwickelung der charakteriſtiſchen Eroſionserſcheinungen wie an Waſſerarmut hinter den vegetationsloſen Strecken kaum zurückbleiben.

Der urſachliche Zuſammenhang beider Erſcheinungen iſt ein anderer: die Eigentümlichkeiten des Kalkbodens bedingen die große Schwierigkeit einer Wiederaufforſtung, wenn der Wald einmal auf weiten Strecken vernichtet iſt; die fruchtbare Erde, die den Fels bedeckt, wird von den in die Tiefe ſtürzenden Waſſern mitgeriſſen und die ohnehin dünne Decke raſch weggewaſchen. Ein Erſatz durch Felsverwitterung geht bei dem ſehr geringen Silikatgehalt der Kalke und bei der Geringfügigkeit der mechaniſchen Eroſion überaus langſam vor ſich, und die ſich neu bildende

rote Erde kann sich nicht halten. Die Ursache der Kahlheit in den karstigen Gebieten liegt also darin, daß jede einmal vorgenommene Verwüstung der Vegetation nahezu irreparabel ist.

Der Charakter der entwaldeten Kalklandschaft macht sich schon auf dem Juraplateau Frankens und Schwabens schlimm genug geltend, aber selbst die sterilsten Striche dieser Gegend geben noch keine Idee von der Trostlosigkeit der Kalksteinwüsten der adriatischen Karstländer. Schon die von Wien nach Triest führende Bahnstrecke gewährt in Krain und in Istrien einigermaßen ein Bild dieser Gegenden (s. Abbildung, S. 503), der dürre Steinboden, die ungeheure Menge der umhergestreuten Steinblöcke, die massenhaften Dolinen zeigen sich mehrfach, wenn auch diese Strecke an sich keine der wilderen ist und überdies sorgfältige Kultur und Aufforstungsversuche mildernd wirken. Es ist auch hier nur eine schwache Vorstellung von dem gegeben, was der Karst an anderen Stellen ist, wo buchstäblich, soweit das Auge reicht, kein Halm auf dem trostlosen, zerrissenen Felsboden zu sehen ist. Solche Strecken, wie sie in weiter Ausdehnung vorkommen, werden an abschreckender Wildheit und Öde wohl nur von den großen Wüstendistrikten der Erde übertroffen. Unendlich armselig ist das Leben der Einwohner, die das Wasser meilenweit zu holen oder das Naß jauchiger Pfützen zu trinken gezwungen sind, und bei denen eine kleine Felsritze mit etwas roter Erde, wo ein einzelner Ölbaum gedeiht, als selbständiger Grundbesitz gilt.

Diese kahlen Hochflächen sind die Heimat der Bora, des furchtbaren Nordoststurms, der mit unglaublicher Gewalt alles vor sich niederwirft. Schon mehr als einmal haben ihre rasenden Stöße ganze Bahnzüge von den Dämmen herabgeworfen, und selbst am Fuße der Höhen, z. B. in Triest, ist ihre Macht noch so groß, daß bei ihrem plötzlichen Einsetzen die Menschen auf den Straßen sich rasch nach einem festen Anhaltspunkt umsehen müssen, um nicht niedergeworfen oder fortgeschleudert zu werden.

Man hat vielfach nach Mitteln geforscht, die Öde der Kalkflächen zu vermindern; allseitig wird als das einzige Mittel einer wirklichen Verbesserung der Zustände eine umfassende Aufforstung erkannt, die freilich großen Schwierigkeiten begegnen und sehr bedeutende Kosten verursachen, ja gerade in einigen der ödesten Distrikte unmöglich sein dürfte. Die erste Aufgabe bei solchen Arbeiten, wie sie in manchen Gegenden schon begonnen sind, ist es, durch Anpflanzung der allergenügsamsten Gewächse die weitere Abschwemmung der noch vorhandenen und der neu sich bildenden Erde zu hindern und dann allmählich mit zunehmender Verbesserung des Bodens andere, für die Dauer geeignete Kulturen einzuführen. Dabei müssen sich alle neuen Versuche räumlich an schon vorhandene Bestände anschließen, da hier mehr Schutz gegen die vernichtende Wirkung der Bora geboten ist. Denken wir uns aber auch eine Aufforstung im weitesten Umfang glücklich durchgeführt, so darf man nicht erwarten, daß sie als ein Universalmittel alle Schäden heilen, die Gegend in üppig fruchtbares Land verwandeln werde. Dieser Erfolg wird nie eintreten, die Wassersnot wird nicht gehoben werden. Zwar wird sich auch in dieser Richtung eine kleine Besserung einstellen, die Bildung einer neuen Pflanzendecke wird jedenfalls den Ablauf des Wassers in die Tiefe verzögern, einzelne Spalten verschließen und so der Oberfläche etwas mehr Feuchtigkeit erhalten; aber eine durchgreifende oder auch nur namhafte Änderung ist sicher nicht zu erwarten. Die wohlthätigen Folgen der Aufforstung werden vorzüglich darin bestehen, daß bisher ganz sterile Striche ein wenn auch nur geringes Erträgnis liefern, und daß die Macht der Bora gemildert und der fortschreitenden Verwilderung Einhalt geboten wird.

Fassen wir die Grundzüge des Charakters der flächenbildenden Kalklandschaft zusammen, so finden wir, daß er in der geringen mechanischen und der vorwiegenden chemischen Erosion, in dem Versickern der Wasser, in der Verlegung der Hauptmasse der Wasserzirkulation und der Erosion in die Tiefe besteht. Die Gefolgeerscheinung ist die Bildung von Höhlen und unterirdischen Kanälen und von Felstrichtern an der Oberfläche; dazu kommt noch die Bildung von

Terra roſſa und ihre Zuſammenführung in Vertiefungen, endlich die hervorragende Neigung für Verwilderung. Es ſind das die weſentlichen Punkte, die in höherem oder geringerem Grade überall unter geeigneten Verhältniſſen wiederkehren. Dieſer gemeinſame Typus variiert erheblich je nach der Zuſammenſetzung und Struktur der Kalke, nach ihrer Lagerung, der Menge und der Art der Schichtſtörung. So auffallend ſich dadurch aber auch die individuellen Unterſchiede einzelner Gebiete geſtalten mögen, ſo ſtellen dieſe letzteren Erſcheinungen doch nur untergeordnete Modifikationen des Haupttypus dar. Man hat vielfach und mit Recht von dem Namen des Territoriums, in dem alle dieſe Phänomene am auffallendſten und gewaltigſten ausgeprägt ſind, eine Bezeichnung für ähnlich beſchaffene Regionen abgeleitet, man nennt ſie Karſtgebiete. Wir müſſen dieſen Namen auf alle Gebiete ausdehnen, die dieſelben charakteriſtiſchen Eigentümlichkeiten zeigen; auch die Hochflächen des ſchwäbiſch-fränkiſchen Jura müſſen z. B. als Karſtgebiete gelten, wenn auch die Erſcheinungen hier nur in ſchwachem Maße ausgebildet ſind.

Allerdings iſt die Verkarſtung kein bleibender Zuſtand; wie Mojſiſovics hervorhebt, wird endlich die unterirdiſche Waſſerzirkulation und Eroſion durch allmähliche Abtragung der Decke wieder in eine oberflächliche übergehen, aber wohl kaum wird dieſer Zuſtand eintreten, ehe das ganze Kalkgebirge denudiert und ſeine Unterlage bloßgelegt iſt. Wir können z. B. mit Beſtimmtheit annehmen, daß das ſchwäbiſch-fränkiſche Juraplateau viel ausgedehnter war und vor langen Zeiträumen als eine mäßig verkarſtete Tafel nach Norden und Nordweſten über das Unterland übergriff; im Laufe der Zeit wurde durch Eroſion der Kalke der Plateaurand immer weiter zurückgeſchoben, und wo vorher kalkige Hochfläche war, dehnen ſich jetzt die üppig fruchtbare Niederung und das Hügelland aus.

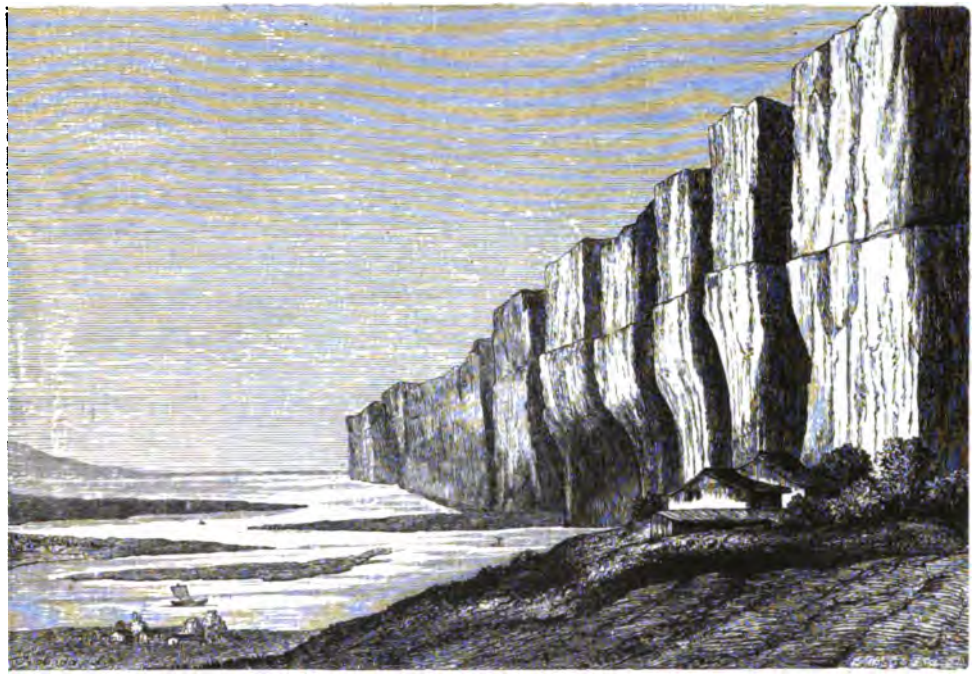
Lößlandſchaft.

Mit den Eroſionserſcheinungen in Karſtgebieten ſind die Vorgänge verwandt, die in den Lößgegenden, namentlich im nördlichen China, dem gelben Lößlande, ſtattfinden, das wir durch die ausgezeichneten Schilderungen F. von Richthofens jetzt näher kennen. Der Löß, der hier in rieſiger Mächtigkeit auftritt, iſt ein ſandiger, kalkhaltiger Lehm von ſehr gleichmäßigem Korn, der in ſeiner ganzen Ausdehnung von feinen, ſenkrechten Haarröhren durchzogen iſt und in hohem Grade zu vertikaler Abſonderung und Zerklüftung hinneigt (ſ. Abbildung, S. 511). Eine eigentliche Schichtung iſt nicht vorhanden, nur in bedeutenden Abſtänden ſchieben ſich Lagen von Kalkkonkretionen ein, von ſogenannten Lößmännchen.

Eine Anzahl größerer Flüſſe hat in China ihre Thäler in dieſe Lehmmaſſen eingeſchnitten, ſonſt aber fehlt es dieſem weiten Gebiet an einer oberflächlichen Zirkulation des Waſſers, weil dieſes durch die feinen Haarröhren des Bodens in die Tiefe ſickert. Trotzdem iſt das ganze Terrain von zahlloſen Schluchten durchzogen, die aber nicht einer Eroſion von oben nach unten, ſondern von unten nach oben ihre Entſtehung verdanken, indem das unterirdiſch fließende Waſſer unterwäſcht und nun von oben Material nachſtürzt. Infolge der natürlichen Neigung zu ſenkrechter Zerklüftung würden auf dieſe Weiſe enge Schluchten mit vollſtändig vertikalen Wänden entſtehen, wenn nicht die oben erwähnten Lagen von Lößmännchen vorhanden wären; jede von dieſen bedingt eine Unterbrechung des Abſturzes, ſie bildet eine ebene Fläche, über der dann wieder eine Wand anſteigt, und ſo entwickelt ſich ein Terraſſenſyſtem, das wohl auf der ganzen Welt nicht ſeinesgleichen hat. Die Art und Weiſe, wie ſich die Schluchten nach rückwärts verlängern, iſt höchſt eigentümlich. Verfolgt man eine von ihnen bis an ihr hinteres Ende, ſo gelangt man hier oft an eine Strecke, in der das Abſtürzen der Decke von oben noch nicht ſtattgefunden hat, man tritt in eine Art ſehr hohen, kurzen Tunnels; häufig iſt in ſeinem hinterſten Teil an einer Stelle ſchon ein

Durchbruch erfolgt, und man sieht dann durch einen schornsteinartigen Schacht, einen „Lößbrunnen", zum Himmel hinauf.

Die Menge dieser Schluchten (s. Abbildung, S. 512) und der senkrechten Abstürze geben der Lößlandschaft einen äußerst eigentümlichen Charakter, den Richthofen folgendermaßen schildert: „Als ich in die Gegend von Pingyangfu gelangte, hatte eine anhaltende Dürre das Aufkommen der Saaten vollkommen verhindert. Der Boden war kahl und einförmig gelb; wie ein Wüstenland lag das sonst so fruchtbare Thal vor mir. Man glaubte bei der klaren Atmosphäre jede Unebenheit des Bodens wahrnehmen zu müssen; allein einige in unmittelbarer Nähe gelegene Schluchten abgerechnet, schien das Land so gleichmäßig, daß man meinte, ein Regiment Kavallerie



Lößufer des Hoangho in China. (Nach F. v. Richthofen.) Vgl. Text, S. 510.

müsse im Fluge über die weite Ebene hineilen können. Und doch ist dieselbe so unzugänglich, daß selbst der Fußgänger verloren ist, wenn er sich nicht an die gebahnten Wege hält; die Schwierigkeiten des Fortkommens sind dann größer, als wenn man sich zwischen Felsen und Klippen befindet. Wandert man von einem Flusse, der sein Bett in den Löß eingeschnitten hat, in einer der Schluchten hinauf, so vereinigen sich bald mit ihr andere Schluchten von rechts und links, kleinere und größere, und in jeder derselben, wenn wir sie verfolgen, kommen wir zu neuen Rissen, und jeder von diesen verzweigt sich gegen seinen Oberlauf mehr und mehr. Steigen wir zu ihrem letzten Anfang hinauf, so finden wir die meisten schon an ihrer Ursprungsstelle als Risse von 30 bis 50 Fuß Tiefe bei einer Breite von oft nicht mehr als 3—6 Fuß. Wandert man dagegen auf der Oberfläche der so sanft aussehenden Lößmulde abwärts, oder verläßt man dort einen der gebahnten Wege, so steht man plötzlich am Rande eines dieser tiefen Risse; da man nicht über denselben hinüber kann, so geht man die Spalte entlang aufwärts; aber bald wird der Weg durch eine neue Kluft verstellt, die unter einem schiefen Winkel in die erste einmündet; man folgt ihr und verliert noch mehr die Richtung des beabsichtigten Weges. Dann kommen abermalige Abzweigungen, und wenn man ihnen entlang geht, so ist man bald in dem Gewirre der immer neu

hinzukommenden Schluchten verloren. Sorgfältig wandert man zu dem erſten Punkte zurück und verſucht das Fortkommen nach abwärts, aber da gelangt man bald an einen klippenförmigen Vorſprung, der auf der einen Seite von der erſten Schlucht, auf der anderen von einer zweiten, ſeitlich einmündenden begrenzt wird. Mühſam ſteigt man an einigen der Terraſſen hinab, aber wenn man auf die letzte derſelben gelangt, ſo ſtürzt ſie mit ſenkrechten Wänden nach dem Boden der beiden Riſſe ab.

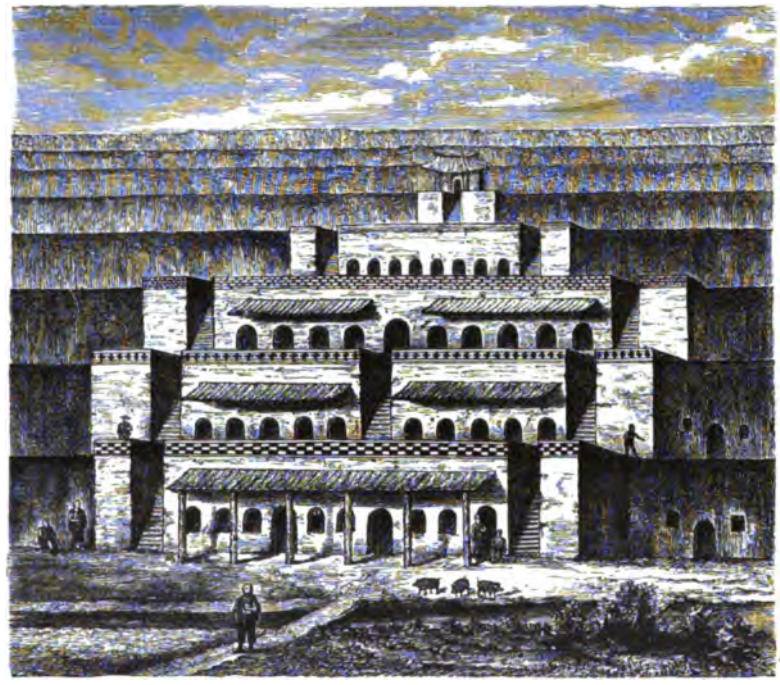
Löß-ſchlucht in China. (Nach F. v. Richthofen.)
Vgl. Text, S. 511.

„Hätte der Löß in ſeiner ganzen Mächtigkeit gleichmäßige Struktur, ſo würden ſolche Gegenden überhaupt nicht paſſierbar ſein, denn dann würden die Schluchten als abſolut ſenkrechte Spalten von oft mehr als 1000 Fuß Tiefe niederſetzen. Hier tritt als wohlthätiges Element die Anordnung der Mergelknauern in Lagen ein, durch welche die ſenkrechte Wand in einen Terraſſenabfall verwandelt wird. Jede einzelne Bank endet zwar in einem ſenkrechten, zuweilen überhängenden Abfall, aber die ſchützende Decke bewirkt eine Verebnung ihrer oberen Fläche, und erſt in einigem Abſtand vom erſten Steilrand ſtürzt die nächſte Bank ab. An dieſen Wänden ſchreitet die Zerſtörung ſehr langſam fort, da ſie nicht von fließendem Waſſer begünſtigt wird; die ſparſam herabſtürzenden Schollen häufen ſich an ihrem Fuße und werden vom Regen und durch die Arbeit des Landmannes über die Oberfläche der Terraſſe verteilt, ſo daß die Mergelknauern mit einer Schicht weicher Ackererde bedeckt werden. Überblickt man einen ſolchen Terraſſenabhang in guter Jahreszeit von oben, ſo ſieht man nichts als grüne Felder, während der Beſchauer, der in der Schlucht ſteht, nur die gänzlich vegetationsloſen Lößwände ſtarr und gelb eine über der anderen anſteigen ſieht, jede am Rande von einer Reihe Grashalme begrenzt.

„Vermöge dieſer Beſonderheiten geſtaltet ſich die Lößlandſchaft zu den wechſelvollſten Bildern; jeder Blick hinab in die labyrinthiſchen Bodeneinſchnitte oder aus den Schluchten hinauf in die einzelnen der in ſie mündenden Zweige bringt neue Bilder. Man kann im Löß tauſend Landſchaften geſehen haben und trifft mit Erſtaunen ſtets neue, unerwartete Kombinationen, mit einer Fülle des Romantiſchen, Bizarren und Abenteuerlichen ausgeſtattet. Beſonders eigentümlich geſtalten ſich die Bilder, wo viele Schluchten zuſammenkommen und Lößpfeiler von mehreren hundert Fuß Höhe den Raum zwiſchen ihren beiden Enden einnehmen, nach jeder Seite ſich abterraſſierend und ſchließlich in einen ſpitzwinkeligen Grat auslaufend, der an ſeinem letzten Ende ſich noch einmal in Trümmer auflöſt. An einer anderen Stelle geht man in einem tief zwiſchen Lößwänden eingeſchnittenen Hohlweg; überraſcht ſieht man in ſeiner Seite eine Öffnung

angebracht, um das bei Regen sich ansammelnde Wasser abzuleiten, ein, wie man glauben sollte, in einem Hohlweg zwischen 100 Fuß hohen Wänden gewachsenen Bodens aussichtsloses Unternehmen. Mit Verwunderung gewahren wir, daß die eine Seite des Hohlweges nur eine natürliche frei stehende Erdmauer und die Öffnung darin ein Fenster ist, der Hohlweg aber dicht neben einem gähnenden Abgrund eingeschnitten ist. Wir blicken hinab in ein Chaos von Wildnis, wo tausend Vorsprünge von einfarbig gelbem Löß ebenso viele unzugängliche Schluchten trennen. Gehen wir weiter in dem Hohlwege, so führt er vielleicht steil hinab oder hinauf, plötzlich endigen die Wände zu beiden Seiten, die Straße betritt einen engen Grat, auf dem wenig Raum außer für sie ist, und zu beiden Seiten gähnen gelbe Abgründe in endloser Verzweigung.

„Millionen von Menschen wohnen in den Nordprovinzen Chinas in Höhlen, die sie im Löß ausgegraben haben. Sie werden am Fuße der Lößwände, wo diese in die Thäler oder auf die Abstufungen von Terrassen abfallen, angebracht. Die Erfahrung hat gelehrt, diejenigen Wände zu erkennen, welche größeren Bestand haben. Die Höhlung wird vom Boden aus horizontal in den Löß hineingetrieben, so zwar, daß der Eingang die Größe der Thür hat und zu dessen Seiten, indem sich der Raum nach innen ausdehnt, Mauern von Löß stehen bleiben. Die meisten Wohnungen bestehen aus mehreren Räumen, von denen nur einer eine Thür hat, während von den anderen nur Fenster durch die dünne Lößwand nach außen führen. Aus den zerreiblichen Mergelknauern wird ein Zement bereitet, mit welchem die inneren Wände sowie die Seiten von Fenstern und Thüren ausgestrichen werden. Er sichert Festigkeit und Trockenheit und trägt zu dem behaglichen Charakter der Wohnungen bei. Manche derselben hat Jahrhunderte hindurch derselben Familie zum Wohnsitz gedient. An den Grenzen der Mongolei begegnet man täglich derartigen Ansiedelungen (s. obenstehende Abbildung). Es kommt vor, daß man in einem reich angebauten Thalboden nicht ein einziges Haus sieht. Vergebens fragt man sich, wo die Bewohner, welche diese Arbeit verrichtet haben, leben, bis man an die Lößwand herantritt, die das Thal seitlich begrenzt. Hier wimmelt es wie in einem aufgestörten Bienenschwarme; überall strömen Menschen aus dem Inneren der gelben Erdwände heraus."



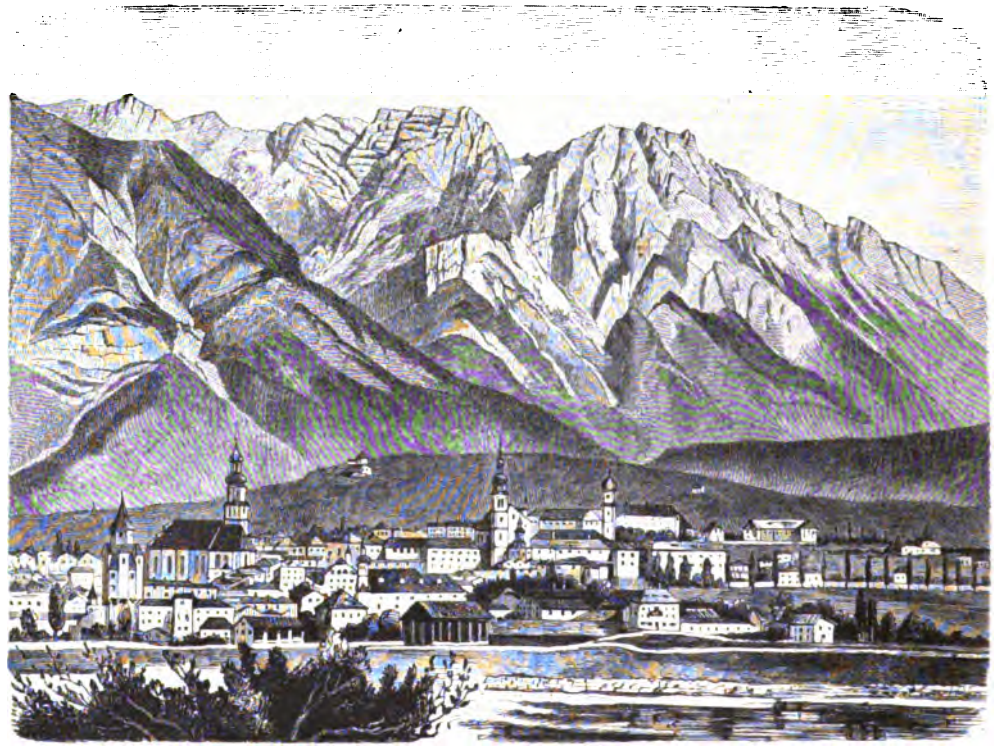
Lößwohnungen in China. (Nach F. v. Richthofen.)

In keinem anderen Lande der Erde erreicht der Löß auch nur annähernd so große Mächtigkeit und Bedeutung wie in China; in allen anderen Gegenden seines Auftretens, im Rheinthal,

in der Donauniederung und an vielen anderen Punkten, iſt ſeine Entwickelung eine ſehr viel geringere, und damit verwiſchen ſich auch die auffallendſten Züge der Lößlandſchaft; doch bleibt überall dieſelbe Neigung zur Bildung faſt ſenkrechter Abſtürze, Schluchten und Hohlwege.

Thalterraſſen.

Wir haben in einer Reihe ſehr verſchiedener Beiſpiele die abtragende Arbeit des Waſſers verfolgt, wie ſie in erſter Linie in der Ausnagung der Thäler und, von dieſer Baſis ausgehend,

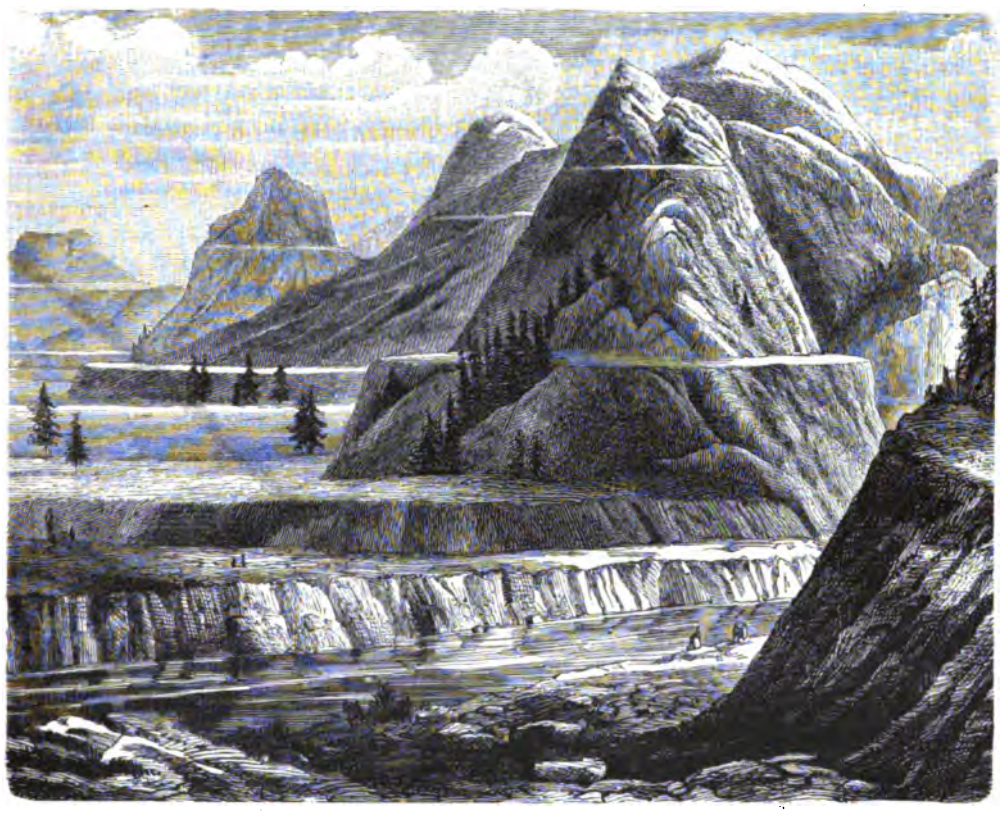


Das „Mittelgebirge“ am Fuß der Kalkberge bei Hall in Tirol. Vgl. Text, S. 515.

in der Zerſtörung der Gebirge hervortritt. Dieſe Thätigkeit geht aber nicht in gleichem oder regelmäßigem Tempo vor ſich, ſondern es wechſeln Perioden raſcheren Fortſchritts mit ſolchen langſamerer Arbeit ab, wie das vor allem aus einer außerordentlich verbreiteten Erſcheinung hervorgeht, die ſchon mehrfach beiläufig erwähnt wurde: aus dem Auftreten der Terraſſen an den Flußthälern. Dieſe *Flußterraſſen*, die zu beiden Seiten eines Waſſerlaufes auftreten und ihn begleiten, haben natürlich nichts gemein mit den Eroſionsterraſſen, in denen ſich die einzelnen Terrainſtufen eines Plateaulandes übereinander aufbauen, wie ſie z. B. auf der Schwäbiſch-Fränkiſchen Alb vorkommen, und wie wir ſie bei der Darſtellung der Sahara antreffen werden.

Jede Flußterraſſe iſt, allgemein geſagt, der *Reſt eines ehemaligen Thalbodens*, der dadurch zerſtört worden iſt, daß der Fluß durch Einſchneiden in die Unterlage ſein Bett tiefer gelegt hat. Sehr auffallend treten z. B. ſolche Terraſſen in den Alpen, im Unterinnthal und in vielen ſeiner Seitenthäler auf. Bei Hall, unterhalb Innsbruck, erhebt ſich z. B. über der

Thalſohle beiderſeits ziemlich ſteil ein waldiges Gehänge; iſt man hier etwa 350 m hoch angeſtiegen, ſo erreicht man eine breite, ebene Fläche, auf der mehrere Ortſchaften mit ihren Feldern liegen, und erſt hinter dieſem „Mittelgebirge" ſteigen die hohen Ketten der älteren Geſteine an (ſ. Abbild., S. 514). Die Terraſſe beſteht aus Geröllen, Sand und Thon, die der Inn während der Diluvialzeit durch Umſchwemmung von Moränenſchutt der Glazialperiode abgelagert hat; damals war das Bett des Inn etwa 350 m höher als heute, und von dem Schiefergebirge im Süden bis zum Kalkgebirge im Norden, in deſſen Mitte ſich der Fluß bewegte, erſtreckte ſich ein zuſammenhängender Thalboden. Später begann der Inn ſein Bett bis auf das heutige Niveau



Terraſſen des Fraſerfluſſes in Columbia (Nordamerika).

herab auszuliefen, breitete ſein Thal durch Unterwaſchung der Ränder aus, und die Terraſſen zu beiden Seiten ſind die ſtehen gebliebenen Reſte jenes alten diluvialen Thalbodens.

Die Terraſſen beſtehen nicht immer nur aus alten Flußablagerungen, ſehr oft ſind ſie in den feſten Fels eingegraben und entweder gar nicht mehr oder nur an ihrer Oberfläche mit Flußabſätzen beſtreut. Oft auch ſieht man deren nicht nur eine, ſondern mehrere übereinander, und dieſe ſind dann die Reſte verſchiedener Thalſohlen, die der Fluß einſt eingenommen hat; jede davon gibt uns Nachricht von einer Pauſe, von einer Periode des Stillſtandes in der Austiefung des Bettes. Dieſe beiden Verhältniſſe werden durch die obenſtehende Abbildung erläutert, die die Terraſſen des Fraſerfluſſes in Columbia zeigt. Nicht überall treten natürlich die Flußterraſſen ſo großartig entwickelt auf; häufig ſind es nur verhältnismäßig niedere und etwas verwaſchene Stufen, aber doch ſehr charakteriſtiſch in ihrer Form, ſo daß ſie bei einiger Aufmerkſamkeit ſofort zu erkennen ſind. Selbſt innerhalb großer Städte iſt es leicht, dieſe die Flüſſe begleitenden

Steilränder in dem Gewirre der Straßen zu verfolgen, wenn ſich auch von den Einwohnern nur ſehr wenige Rechenſchaft geben mögen, warum ſich an einer Stelle das Niveau plötzlich erhebt.

Beſonders lehrreich und ſchön entwickelt ſind die Terraſſen in den höheren Thälern der Alpen; ſteigt man in einem ſolchen Thale empor, ſo findet man ziemlich ebenen Boden, dann folgt eine ſteilere Stufe, dann wieder flaches Terrain, und ſo erhebt man ſich über eine Reihe von Terraſſen, die hintereinander aufſteigen. Aber nicht nur in dem Längsprofil machen ſich dieſe geltend, ſondern ſie erſcheinen auch alle an den Seitenwänden der unteren Thalſtrecke übereinander, indem jede der Stufen von dem Punkte an, wo ſie in einem Steilrande aufhört und nicht mehr den Thalboden erfüllt, ſich doch noch in Längsterraſſen oft mehr, oft weniger deutlich an den Seitenwänden thalabwärts fortſetzt. Es geht daraus hervor, daß jede der Terraſſen urſprünglich ein einheitlich ſich fortſetzender Thalboden war, in den dann der Fluß ſein Bett tiefer einnagte. Von beſonderem Intereſſe iſt dabei die Thatſache, daß, wie es ſcheint, in jedem der größeren Thalſyſteme die Zahl und Höhenlage der Terraſſen ſich durch alle Thalverzweigungen gleichbleiben, daß dagegen verſchiedene Thalſyſteme darin ungleich entwickelt ſind. Allerdings ſind die Unterſuchungen noch nicht ſo weit fortgeſchritten, daß man dieſe Sätze mit Beſtimmtheit als allgemein gültig ausſprechen könnte; allein ſoweit die Beobachtung reicht, ſehen wir ſie beſtätigt. Es ſind hier namentlich die Unterſuchungen von Bodmer, Heim und Stapff in der Schweiz von Bedeutung, denen noch eine Reihe von Beobachtungen aus anderen Teilen der Alpen anzufügen ſind. So hat z. B. Heim gezeigt, daß in einigen benachbarten Thalſyſtemen die einzelnen Terraſſen in den verſchiedenſten Teilen in folgenden Höhen liegen:

Terraſſen	Reußgebiet	Höhe des Abſturzes	Linthgebiet	Höhe des Abſturzes	Rheingebiet	Höhe des Abſturzes
	Meter	Meter	Meter	Meter	Meter	Meter
Erſte Terraſſe	450— 550	350	600— 800	450	700—1000	550
Zweite Terraſſe	600— 700	450	1000—1300	750	1300—1500	450
Dritte Terraſſe	1000—1200	350	1800—2000	550	1800—1900	200
Vierte Terraſſe	1300—1600	500	2400—2500	450	2000—2100	350
Fünfte Terraſſe	1900—2000		2800—3000		2400	

So klar und deutlich der Terraſſenbau der meiſten Flußthäler vor Augen liegt, ſo ſchwierig iſt es, die Entſtehung dieſer Erſcheinung zu erklären. Im allgemeinen kann man allerdings ſagen, jede Terraſſe entſpreche einem Stillſtand in der Thalbildung oder ſelbſt einer Zuſchüttung des ſchon ausgetieften Bettes; aber welcher Art die Kräfte ſind, die ſolche Verzögerungen der Thalbildung hervorbringen, iſt eine ſehr ſchwierige Frage.

Vor allem müſſen wir uns davor hüten, alle derartigen Vorkommniſſe auf eine und dieſelbe Weiſe deuten zu wollen. Treten durch irgend eine Urſache periodiſche Änderungen in der Kraftentfaltung eines Fluſſes ein, ſo wird dadurch Terraſſenbildung hervorgerufen; es muß daher ſo viele verſchiedene Urſachen der Terraſſenbildung geben, als es Faktoren gibt, die ſolche periodiſche Änderungen in der Wirkung der Flüſſe bedingen.

Wenn ſehr feſte, der Verwitterung widerſtehende Geſteinsbänke quer über ein Flußthal ſtreichen, ſo verzögern ſie die Ausnagung und damit die Bildung einer Terraſſe. Derſelbe Fall tritt ein, wenn das Gefälle eines Fluſſes durch ein in ſeinen Weg geſtelltes Hindernis in zwei Strecken zerlegt wird, die ſich verſchieden verhalten. Wenn z. B. ein Thal durch einen beträchtlichen Bergſturz geſperrt wird, ſo wird das Waſſer oberhalb geſtaut und eine Geſchiebelage darin abgeſetzt, die als Terraſſe hervortritt, ſobald der Fluß den Schuttdamm durchbrochen hat.

Ein Beispiel dieser Art haben wir bereits bei der Besprechung des Flimser Bergsturzes (S. 466) kennen gelernt. Dieselbe Wirkung kann natürlich auch durch einen geschiebereichen Nebenfluß hervorgebracht werden, wenn dieser mit seinem Schuttkegel dem Hauptstrom einen Damm entgegenbaut, oder durch einen in das Thal ergossenen Lavastrom, oder endlich durch Gletscher, die sich aus einem Seitenthal in das Hauptthal hinablassen und dieses durch einen Eis- und Moränenwall quer absperren. Manche Terrassen an den Küsten Grönlands und in den Fjorden Norwegens sind gewiß in dieser Weise durch vorgeschobene Gletscher entstanden, und auch in den „Inlandsetern" Norwegens haben wir ein besonders merkwürdiges Beispiel der Terrassenbildung infolge von Absperrung der Thäler durch Gletschereis kennen gelernt (s. S. 405). Auch Erscheinungen des Gebirgsbaues, besonders Verwerfungen quer zum Stromlauf und die Aufwölbung von Falten, ziehen die Entstehung von Terrassen nach sich, wenn sie ein bereits ausgebildetes Flußthal betreffen. Eine im Flußbett aufsteigende Falte staut das Wasser, ebenso eine Verwerfung, bei der der Oberlauf im gesunkenen Teile liegt. Der Fluß wird hierdurch seiner Kraft, sich einzutiefen, beraubt und zur Aufspeicherung der Geschiebe gezwungen, während ein tektonischer Bruch, bei dem der Unterlauf des Flusses tiefer liegt, die Belebung der Erosion im Oberlauf und die Tieferlegung des Flußbettes zur Folge hat. Im letzteren Falle tritt das alte Flußbett mit seinen Geschiebelagen als höhere Terrasse hervor.

Ohne Zweifel können durch die besprochenen Vorgänge Flußterrassen entstehen, sind auch thatsächlich in manchen Fällen solche entstanden; aber sie haben stets nur eine lokale, beschränkte Bedeutung, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man die Beobachtung auf größere Gebiete ausdehnt. Man sieht dann, daß die Flußterrassen nicht nur in Mitteleuropa, sondern auch in Asien, in Nordamerika ꝛc. mit großer Regelmäßigkeit auftreten, und wird zu der Vermutung gedrängt, daß der Erscheinung der Flußterrassen eine allgemein wirkende Ursache zu Grunde liegen müsse. Als eine solche könnten Änderungen im gegenseitigen Stande von Festland und Meer ins Auge gefaßt werden, mag man nun dabei an säkulare Hebungen und Senkungen der Landmassen oder an Schwankungen des Meeresspiegels denken. Tritt eine Senkung des Landes ein, so wird natürlich dadurch eine Verminderung im Gefälle aller Flüsse hervorgebracht, die Erosion kommt in höheren Regionen ins Stocken, in tieferen wird eine Aufschüttung von Sediment, eine Erhöhung des Flußbettes eintreten. Bei Hebung des Landes wird umgekehrt das Gefälle vermehrt, und es erfolgt eine allgemeine Austiefung der Thäler. Ein ausgezeichnetes Beispiel für diesen letzten Vorgang haben wir in einem früheren Abschnitt bei Besprechung der alten Strandlinien Skandinaviens und ihres Zusammenhanges mit den dortigen Flußterrassen kennen gelernt, und sicher kann eine große Anzahl von analogen Vorkommnissen so erklärt werden. Man würde aber sehr irren, wenn man in diesen Vorgängen die allgemeine Ursache der Terrassenbildung suchen wollte. Nehmen wir z. B. an, die Nordsee stiege heute um 50 m an, so würde das doch ganz sicher auf das Wassergebiet des Rheines in den Alpen nicht den geringsten Einfluß ausüben: oberhalb der Stromschnellen im rheinischen Schiefergebirge und oberhalb Basel wäre kaum eine Wirkung bemerkbar, und vollends jenseits des Schaffhausener Rheinfalles und des Bodensees wäre das gewiß nicht der Fall. Man hat auch an eine allgemeine Hebung der Alpen oder von ganz Europa gedacht, um eine Erklärung zu finden; aber auch dabei stößt man auf unerwartete Schwierigkeiten, denn es ist zu beachten, daß bei den alpinen Flüssen nicht nur Ruhepausen mit Zeiten rascher Erosion wechseln, sondern daß auch Perioden intensiver Aufschüttung eintreten, für die man konsequenterweise Senkungen der Alpen annehmen müßte, wie das Penck für eine Reihe von Fällen gezeigt hat: „Nicht selten bilden die Gerölle vom Bette des Flusses bis zur Höhe der Terrassen eine einzige einheitliche Ablagerung, die Mächtigkeit des Gerölles ist der Höhe der Terrasse gleich. Unter diesen Umständen kann die Terrasse nicht als ein

Überbleibſel angeſehen werden, welches nur eine Ruhepauſe in der Thalbildung bezeichnet; ſie kann nur in folgender Weiſe erklärt werden: das Thal war bis zu ſeiner heutigen Tiefe gebildet, dann begann der Fluß Gerölle anzuhäufen und ſein Bett zuzuſchütten bis zur Höhe der Terraſſe; dann endlich tiefte er dasſelbe wieder in den eben aufgeſchütteten Thalboden ein.“ Das eben Geſagte gilt unter anderem von der gewaltigen Terraſſe des Innthales, und hier darf infolgedeſſen die Idee als beſeitigt gelten, daß Hebungserſcheinungen im Alpengebiet die Urſache ſind.

Sehr weitgehende allgemeine Änderungen im Zuſtand der Flüſſe werden durch die meteorologiſchen Verhältniſſe bewirkt. Wenn bei Wolkenbrüchen die Flüſſe plötzlich anſchwellen, ſo bemerkt man, daß die Transportkraft in weit höherem Grade vermehrt wird als die Waſſermaſſe. Daher kommt es, daß bei Hochwaſſerkataſtrophen, wie wir ſie im Vorhergehenden beſchrieben haben (ſ. S. 470), ſo gewaltige Mengen von Geſteinsſchutt und Geſchieben abwärts geführt und auf dem Thalboden ausgebreitet werden, daß viele Jahre, ja ſelbſt Jahrhunderte vergehen können, bevor der Fluß im ſtande iſt, ſein Bett freizulegen. Wenn nun infolge eines Klimawechſels eine dauernde Vermehrung der Niederſchläge eintritt und große, durch lange Perioden angeſammelte Vorräte von Schutt und Verwitterungsprodukten von den Gebirgen abgeräumt und den Flüſſen einverleibt werden, ſo muß erfolgen, was uns die Flußterraſſen erkennen laſſen: eine allgemeine Aufſchüttung von Geſchieben in ſämtlichen vorgebildeten Thälern. Sobald aber die Hauptmaſſe des gelockerten Geſteins zu Thal gefördert iſt und wieder eine trockene Zeit eintritt, können die Flüſſe die unterbrochene Eroſionsarbeit wieder aufnehmen und ihr Bett vertiefen.

Es liegt nun ſehr nahe, die Urſache des angenommenen Klimawechſels in der bei jugendlichen Veränderungen der Erdoberfläche ſchon öfter erwähnten diluvialen Eiszeit (ſ. S. 407) zu ſuchen. Vor nicht zu langer Zeit hat man die Eiszeit noch als eine einheitliche und einmalige Epiſode angeſehen. Die neueren Unterſuchungen haben aber gezeigt, daß ſie in Wirklichkeit als eine Folge verſchiedener kälterer Glazial- und wärmerer Interglazialzeiten zu betrachten iſt. Große Vergletſcherungen und Perioden ſtarker Niederſchläge und niedriger Temperatur wechſelten mit verhältnismäßig warmen und trockenen Zeiten und Rückgängen der Vergletſcherung. Die jedesmalige Verſchlechterung des Klimas mit ihren vermehrten Niederſchlägen, beſonders aber die großen Waſſermaſſen der abſchmelzenden Gletſcher, bewirkten die mächtigen Aufſchüttungen der Diluvialterraſſen in den verwilderten Flußbetten, worauf in den interglazialen Perioden die Tieferlegung der Eroſionskanäle erfolgte. Vollzog ſich dieſer Wechſel in den Alpen zweimal, ja nach den Angaben der beſten Kenner dieſer Verhältniſſe vielleicht ſogar dreimal, ſo finden wir im Vorlande der Alpen auch drei verſchiedene diluviale Schotterterraſſen.

Eine ſehr wichtige Beſtätigung hat dieſe Auffaſſung der Flußterraſſen durch die Forſchungen in den abflußloſen Seegebieten des weſtlichen Nordamerika gefunden. Auf der Hochfläche des Great Baſin, zwiſchen dem Wahſatchgebirge im Oſten und der Sierra Nevada und dem Kaskadengebirge im Weſten, liegen mehrere abflußloſe Seen, deren größter der Große Salzſee iſt. Während der Eiszeit ſtand der Spiegel dieſes Sees um volle 300 m höher, ſo daß er mit ſeinen Nachbarn zu einem rieſigen Waſſerſpiegel, dem diluvialen Bonneville-See, zuſammenfloß. Mehrere Seen in der Nähe der Sierra Nevada waren ebenfalls zu einem großen abflußloſen See vereinigt, den man Lahontan-See genannt hat; ebenſo zeigten der iſolierte Mono- und Owen-See einen entſprechenden Hochſtand. In zahlloſen, auf das beſte erhaltenen Uferterraſſen treten die Spuren der ehemaligen Waſſerſtände hervor, und amerikaniſche Forſcher haben daraus geſchloſſen, daß der Bonneville-See ebenſo wie der Lahontan- und Mono-See zwei Hochſtände gehabt haben. Die erſte Anſchwellung war von längerer Dauer, hob aber den See um 27,5 m weniger als die zweite. Die Zwiſchenzeit brachte trockenes, warmes Klima, die großen Seen ſcheinen ſogar gänzlich eingetrocknet geweſen zu ſein. Die Moränen dreier eiszeitlicher Gletſcher des Wahſatchgebirges

erstreckten sich in den Bereich des Bonneville-Sees, und von der Sierra Nevada reichten vier Gletscherzungen hinab bis in den hochangeschwollenen Bonneville-See; es bestand also ein räumlicher und zeitlicher Zusammenhang zwischen der größten Ausbreitung der Gletscher und den Hochständen der großen Seen.

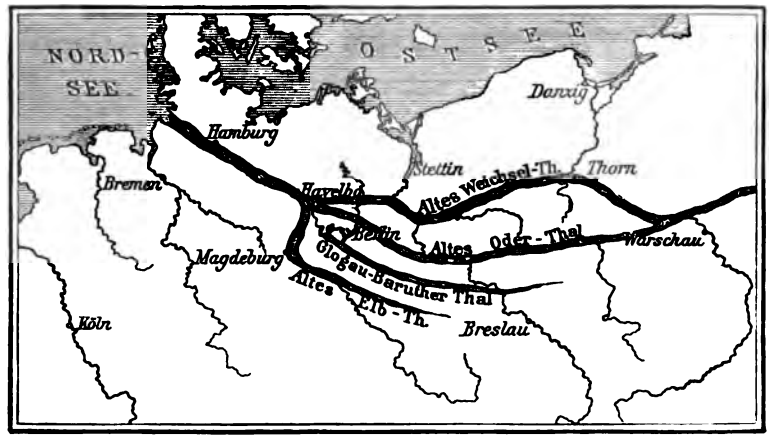
So zeigt nicht nur der Verlauf der großen Eiszeit in Nordamerika eine überraschende Ähnlichkeit mit den Verhältnissen in Europa, sondern auch die Folgeerscheinungen in Flüssen und Seen sind als identisch erkannt worden; es ist daher sehr wahrscheinlich, daß die Terrassenbildung der Flüsse auf die klimatischen Veränderungen der diluvialen Eiszeit zurückzuführen sei.

Verlegung der Flußläufe.

Erscheinungen anderer Art als da, wo der Fluß in die Tiefe schneidet, treten in seinen unteren Teilen auf, in denen er ablagert. Daselbst findet zwar keine Aushöhlung in die Tiefe mehr statt, aber das Wasser kann noch seitwärts wirken; durch Unterwaschung der Ufer erfolgen Abstürze, das Bett wird erweitert und breitet sich aus. Man kann dabei zwischen zwei wesentlich verschiedenen Teilen des Bettes unterscheiden, der eigentlichen Stromrinne, in der das Wasser für gewöhnlich seinen Lauf nimmt, und dem Inundations- oder Überschwemmungsgebiet, das nur beim Eintritt von Hochwassern überflutet erscheint. Um eine solche Ausbreitung des Bettes zu ermöglichen, ist es entschieden erforderlich, daß der Fluß mit der Zeit sein Bett *seitlich verlege*; das geschieht auch in der That vielfach und zum Teil in außerordentlich starkem Maße. Eine Ablenkung tritt z. B. ein durch die Einwirkung eines seitwärts einmündenden Nebenflusses und der aus demselben sich ablagernden Sedimentmassen, durch die der nächste Anlaß zur Bildung von Krümmungen und Serpentinen gegeben wird. In anderen Fällen dagegen ist es sehr schwierig, sich Rechenschaft zu geben. So sieht man oft, daß ein Fluß die eine Seite seines Bettes verläßt und gegen die andere Seite hinüberdrängt, die dann durch steileren Abfall ihrer Ufer gekennzeichnet ist. Die herrschende Windrichtung, namentlich zur Zeit der Frühlingshochwässer, und ähnliche Ursachen mögen bei diesen Verschiebungen beteiligt sein, ohne aber, wie es scheint, in allen Fällen auszureichen. Baer hat auf das eigentümliche Verhältnis bei den sibirischen Flüssen hingewiesen, daß die großen ins Eismeer mündenden Ströme vorzugsweise ihr rechtes östliches Ufer unterwaschen, und hat diese Erscheinung der Umdrehung der Erde um ihre Achse zugeschrieben. Je näher ein Punkt dem Äquator liegt, desto rascher bewegt er sich bei der täglichen Umdrehung der Erde um ihre Achse von Westen nach Osten; fließt demnach auf der nördlichen Halbkugel Wasser von Süden nach Norden ab, so bringt es eine größere Umdrehungsgeschwindigkeit mit, es wird also von der rein nordsüdlichen Richtung etwas gegen Osten abzuweichen suchen und somit das rechte Ufer unterwaschen. Fließt das Wasser gegen Süden, so wird es gegen Westen, also wieder gegen das rechte Ufer, gedrängt, während auf der südlichen Halbkugel natürlich das umgekehrte Verhältnis herrscht. Das sogenannte *Baersche Gesetz* läßt sich daher in der Weise ausdrücken, daß die in der Richtung des Meridians laufenden Flüsse auf der nördlichen Halbkugel ihr rechtes, auf der südlichen ihr linkes Ufer unterwaschen. In sehr vielen Fällen sehen wir diese Regel bestätigt, und es läßt sich auch die theoretische Richtigkeit des Baerschen Gesetzes nicht bezweifeln. Dagegen ist es noch unentschieden, ob der Einfluß der Erdrotation quantitativ für die ihm zugeschriebene Gestaltung der Flußbetten ausreicht, und ob er nicht anderen Einflüssen gegenüber gänzlich verschwindet.

Sehr bedeutende Veränderungen haben die Flüsse Norddeutschlands während der Diluvialperiode erlitten; wie Berendt und Girard gezeigt haben, besaßen sie damals statt der jetzigen

nördlichen eine weſtliche oder weſtnordweſtliche Richtung und vereinigten ſich ſämtlich im Gebiete der unteren Elbe zu einem einzigen, der Nordſee tributären Strome. Das alte Weichſel- oder Thorn-Eberswalder Thal nahm ſeinen Anfang in der Niederung des Bug in Ruſſiſch-Polen, dann folgte es von Nowogeorgiewsk bis Fordon der jetzigen Weichſel; während aber dieſe unterhalb Fordon plötzlich ihre alte Richtung verläßt und ſich in einem engen Thale durch den baltiſchen Höhenrücken nach Norden wendet, erkennt man die Fortſetzung des alten Weichſelthales in der weiten Niederung, die ſich über Bromberg, Nakel und Küſtrin der Netze und Warthe entlang bis an das heutige Oderthal hinzieht. Eine Strecke weit wurde dieſes benutzt, und ſchließlich erfolgte über Eberswalde durch den Finow-Kanal die Vereinigung mit der Elbe. Etwas weiter ſüdlich liegt das alte Oder- oder Warſchau-Berliner Thal, ferner das Glogau-Baruther Thal und endlich das alte Elbthal, wie dies aus dem untenſtehenden Kärtchen erſichtlich iſt. Bei Havelberg fand der Zuſammenfluß dieſer Ströme ſtatt. Wie die Weichſel bei Fordon, verließ auch die Oder die gegebene Niederung, um die diluviale Hochfläche zu durchſchneiden und bei Stettin in die Oſtſee zu münden. Die von den Diluvialſtrömen verlaſſenen Thäler werden jetzt größtenteils von kleineren Nebenflüſſen benutzt, und daraus erklärt ſich z. B. die ſcheinbar ganz unbegründete Breite des Spreethales bei Berlin: es iſt nicht von der Spree, ſondern von der Oder geſchaffen worden. Der ungefähr oſtweſtliche Lauf der alten Thäler wird aus Gründen, die wir hier nicht erörtern können, auf tektoniſche Verhältniſſe zurückgeführt: es ſollen Grabenverſenkungen ſein, in denen die Waſſermaſſen der Diluvialperiode ihren Abfluß fanden. Durch welche Umſtände aber die Ströme veranlaßt wurden, die alte Richtung aufzugeben und einen, zwar der allgemeinen Abdachung des Landes entſprechenden, aber durch eine Hochfläche gehenden Lauf einzuſchlagen, iſt im einzelnen noch nicht mit Sicherheit erkannt; man kann nur ſagen, daß dieſe Stromablenkungen mit zu den vielfachen Umgeſtaltungen gehören, die die Eiszeit auf der Erdoberfläche hervorgerufen hat.



Das ehemalige Flußſyſtem Norddeutſchlands. (Nach F. Wahnſchaffe.)

Von anderer Art wie die beſchriebenen Veränderungen ſind die Verlegungen des Flußlaufes im Aufſchüttungsgebiet großer Ströme. Es gibt Fälle, wo der Strom im Unterlauf durch eine Ebene fließt, die weit und breit aus ſeinen eigenen Ablagerungen beſteht; er hat dann nicht mehr die Kraft, bis auf den Untergrund einzuſchneiden, ſondern wälzt ſich in trägem Laufe über die eigenen Anſchwemmungen fort und breitet die feinen Sedimente, den Sand und Schlamm durch Überſchwemmung zu ſeinen Seiten aus. In der Nähe der Ufer wird Sand abgeſetzt, der feinere Schlamm aber wird weiter hinausgetragen, und es zeigt ſich die Tendenz, je weiter hinab und je weiter vom Flußbett entfernt, deſto feineres und deſto weniger Material niederzuſchlagen. Das ſcheinbar ganz ebene Anſchwemmungsflachland iſt alſo in Wirklichkeit ein Aufſchüttungs- oder Dejektionskegel, deſſen wahre Natur nur deshalb nicht ſofort erkannt wird, weil die Höhenunterſchiede nur ſehr geringfügig ſind. Iſt der Strom nicht durch Dämme in beſtimmte

Richtungen gebannt, so beherrscht er frei sein Anschwemmungsland und sucht, wenn die Ufer die Hochwassermassen nicht zu fassen vermögen, oder niederbrechender Uferschlamm den Weg verlegt, seinen Abfluß nach den jeweiligen Gefällsverhältnissen unter Teilungen und Verlegungen des Flußbettes. Am günstigsten sind die Verhältnisse für die Verlegung des Flußlaufes am Scheitel des Dejektionskegels; da sich der Strom den Weg nach vorn durch seine eigenen Anschwemmungen verlegt, zeigt er das Bestreben, den Schwemmkegel bald nach rechts, bald nach links zu umgehen.

Das großartigste Beispiel dieser Art bietet wohl der Hoangho oder Gelbe Fluß, wie er nach der lehmgelben Farbe seines schlammreichen Wassers heißt. Östlich von der Gegend, wo der Loho in den Hoangho mündet (s. Abbildung, S. 511), tritt dieser mächtige Strom aus dem Gebirge in die dichtbevölkerte chinesische Ebene hinaus, die nichts anderes ist als sein eigener riesiger Dejektionskegel. Vom Scheitel des Kegels aus hat der Strom unter furchtbaren Überschwemmungen und Verwüstungen, die ihm den Namen „der Kummer Chinas" verschafft haben, wiederholt seinen Lauf bald in südöstlicher, bald in nordöstlicher Richtung genommen, und hat an Stellen in das Gelbe Meer gemündet, die um mehr als 700 km voneinander entfernt sind. In der ältesten Periode, von der wir Kunde haben, in der Zeit von ungefähr 2300 v. Chr. bis in das 13. Jahrhundert n. Chr., wandte sich der Gelbe Fluß in nordöstlicher Richtung nach der Niederung, die jetzt der Weiho durchzieht. Er floß in viele Arme gegabelt entlang dem Abfall des Gebirgsplateaus von Schansi und mündete, gegen Osten umbiegend, in der Gegend von Tientsin. Seit dem Jahre 602 v. Chr. begann der Fluß unter vielen Schwankungen sein Bett südwärts zu verschieben, aber erst im 13. Jahrhundert brach er weiter östlich, bei Kaiföng, wo seine Ufer höher liegen als die Umgebung, vollends gegen Südosten durch und mündete nun südlich von Schantung, bis er im Jahre 1852 unter Durchbrechung kolossaler Dammbauten und unter entsetzlichen Verwüstungen abermals nach Norden zurückkehrte. Bis zum Jahre 1887 blieb der Hoangho nun in diesem nordöstlichen Bett. Da trat im September des genannten Jahres ein gewaltiges Hochwasser ein, und wiederum wurde der Strom in der Gegend von Kaiföng, am Scheitel des Dejektionskegels, über das rechte Ufer nach Südosten gedrängt. Es war dies einer der furchtbarsten Durchbrüche in der Geschichte des Hoangho, der mehreren Millionen Menschen (die Angaben schwanken zwischen einer und sieben Millionen) das Leben gekostet hat. Obwohl der Strom ein Drängen nach Südosten erkennen läßt und, wie es scheint, die Gabelung in zwei Äste der natürlichste Zustand wäre, hat die chinesische Regierung beschlossen, den nordöstlichen Lauf zu erzwingen. Thatsächlich ist es den chinesischen Ingenieuren auch gelungen, den Strom durch riesenhafte Deiche in das nordöstliche Bett zurückzudrängen, aber schon im August 1890 ist der Strom in der Provinz Schantung abermals aus seinem Bett getreten. Außer den erwähnten großen und dauernden Änderungen kommen häufig kleinere Übergriffe vor; in der Zeit von 1872 bis 1889 haben sich zwischen der Ausbruchsstelle von 1852 und der Mündung allein 28 Durchbrüche ereignet, die zu Wiederherstellungen der Deiche nötigten. So verdankt zwar China dem Hoangho in dessen Anschwemmungen den fettesten Weizenboden, der eine überaus dichte Besiedelung des Landes ermöglicht, aber es leidet auch furchtbar unter den Verheerungen des Flusses.

In Perioden lebhafter Geschiebeaufschüttung, wie wir sie bei der Besprechung der Terrassenbildung kennen gelernt haben, können Flußteilungen, sogenannte Bifurkationen, und Verlegungen der Flußläufe auch im Mittel- und selbst im Oberlauf der Flüsse vorkommen, und zwar aus denselben Gründen wie beim Hoangho: wenn die Oberfläche der Terrasse vom Flusse erreicht ist, baut er sein Bett über die Umgebung auf und kann nun bei Hochwasser je nach dem günstigsten Gefälle in verschiedenen Richtungen abfließen. Die wenigen Bifurkationen, die z. B. im Binnenland Deutschlands stattgefunden haben, knüpfen sich an die Aufschüttungsperiode der Diluvialzeit. So gabelte sich einst die Mulde bei Grimma in Sachsen: ein Arm hatte die heutige

Richtung des Fluſſes, zwei andere floſſen nach dem heutigen Leipzig in das Gebiet der Elſter. In derſelben Periode gabelte ſich auch die Freiberger Mulde, indem ein Arm dem heutigen Laufe des Fluſſes folgte, ein zweiter dagegen von Döbeln nordwärts gegen die Elbe floß. Beſonders reich an Verlegungen und Gabelungen der Flußläufe war das Alpenvorland zur Diluvialzeit, und es ließen ſich zahlreiche Beiſpiele von der Iſère bis zur Donau anführen. In allen Fällen erkennen wir die Urſache dieſer Erſcheinungen in der übermäßigen Thalaufſchüttung.

Ablagerungen aus fließendem Waſſer.

Wenn ein mit feſten Teilen beladener Fluß in eine Thalſtrecke gelangt, in der das Gefälle geringer, der Lauf des Waſſers verzögert wird, ſo hat er nicht mehr die Kraft, ſeine Laſt weiter-

Sandablagerung der Navajo-Church im weſtlichen Nordamerika. Vgl. Text, S. 523.

zubefördern, er läßt ſie ganz oder zum Teil zu Boden ſinken, wo ſie nun Ablagerungen bildet. Geht dieſer Prozeß langſam und allmählich auf einer großen Thalſtrecke vor ſich, dann entſtehen weit ausgedehnte, annähernd horizontale Schichten von Schlamm, Sand, Geröllen, die oft miteinander wechſellagern, gewöhnlich jedoch nicht dieſelbe Gleichmäßigkeit zeigen wie die Sedimente eines weiten Beckens mit ſtehendem Waſſer. Durch häufig eintretende Änderungen und Störungen werden unregelmäßige Ablagerungsformen hervorgebracht; die größeren Hauptbänke ſind zwar horizontal abgegrenzt, innerhalb derſelben aber ſind dünnere Schichten abgeſondert, die nur auf kurze Strecken parallel zu einander verlaufen und unter mannigfach wechſelndem Winkel gegeneinander und gegen die Hauptrichtung der Bänke abſtoßen. Dieſe Erſcheinung, die namentlich

bei Sanden und den aus ihnen entstehenden Sandsteinen sehr verbreitet vorkommt, wird als falsche Schichtung bezeichnet. Ein schönes Beispiel bietet die Abbildung, S. 522, einer Sandablagerung der Navajo-Church im westlichen Nordamerika. Das Auftreten dieser Strukturform gibt ein untrügliches Merkmal für die Thätigkeit fließenden Wassers, und die Beobachtung desselben gewährt daher in vielen Fällen einen wichtigen Anhaltspunkt für die Beurteilung der Entstehungsweise der Gesteine.

Wenn ein rasch fließender Bergbach in die weite Anschwemmungsebene des Hauptstromes gelangt oder sich in einen See ergießt, bilden sich Schuttkegel, wie wir solche an dem Fuße von

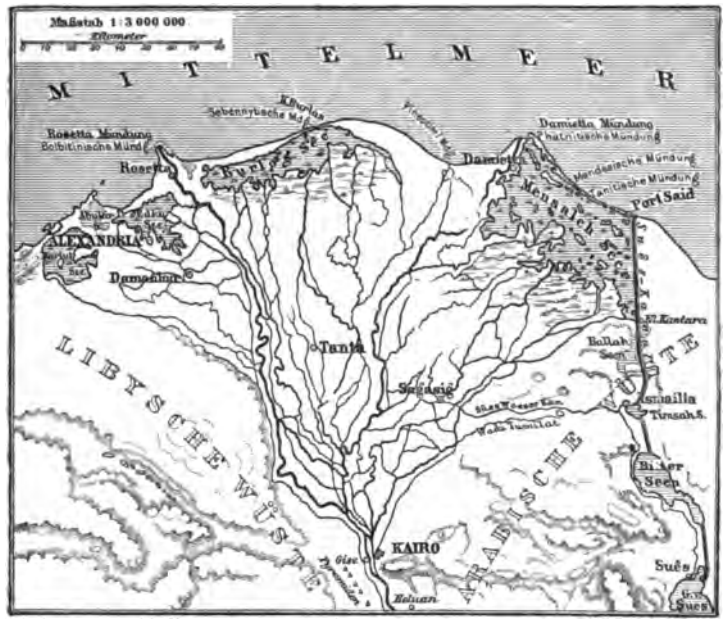
Der See von Silvaplana im Oberengadin, durch einen Schuttkegel eingeengt.

Steinschlagrinnen kennen gelernt haben, nur mit dem Unterschied, daß die Aufschüttungskegel des fließenden Wassers sehr viel flacher sind. Nur sehr reißende Bäche, die plötzlich von steilem Gehänge in eine Thalweitung hinaustreten, haben Kegel von mehr als 5° Oberflächenneigung; in der Regel ist diese bedeutend geringer, so daß man die Neigung erst beim Überblick aus einiger Entfernung oder durch Nivellierungsarbeiten bemerkt. Indem sich solche Schuttkegel und Ablagerungsmassen in Binnenseen vorschieben, gewinnen sie diesen Land ab und engen die Wasserfläche ein (s. obenstehende Abbild.). Eine Menge von Seen ist auf diese Art schon ganz ausgefüllt worden. Der Geolog erkennt diese alten Seeböden, die nun meist entweder Sümpfe, Torfmoore oder ebene Wiesen sind, aus den Formverhältnissen der Umgebung mit voller Sicherheit. An anderen Seen kann man deutlich den Raum erkennen, der auf diese Weise allmählich zugeschüttet worden ist, und die rasche Vergrößerung der Anschwemmung gestattet in manchen Fällen, den nicht sehr fernen Zeitpunkt zu bestimmen, wo der See zu existieren aufhören wird.

Das Schwemmland, das ein Fluß an seiner Mündung durch Ablagerung fester Teile einem See oder dem Meere abgewinnt, wird als sein Delta bezeichnet. Wo der Nil bei Kairo aus

ſeinem engen Thale hervortritt und die ihn begleitenden Höhenzüge auf beiden Seiten zurückweichen, ſpaltet ſich der Strom in mehrere Arme, die ein weites Schwemmland von dreieckigem Umriß umſpannen (ſ. das untenſtehende Kärtchen). Die Spitze des Dreiecks liegt bei Kairo, ſeine Baſis bildet die Meeresküſte; die Griechen verglichen dieſes weite Gebiet ſeiner Form wegen mit dem Buchſtaben Δ (Delta) ihres Alphabets, und dieſer Name wurde ſpäter auf alle Mündungsgebiete von dreieckiger Form übertragen, die von verſchiedenen Armen des Fluſſes umſpannt werden. Jetzt aber verſteht man unter Delta alles in der modernen Periode den ſtehenden Waſſern durch Flußanſchüttung abgewonnene Terrain.

An Ausdehnung und Bedeutung nach jeder Richtung ſind die Deltas, die ins Meer hinausgebaut werden, denen der Binnenſeen ſehr überlegen. In ſolchen niedrigen, überaus fruchtbaren Mündungsgebieten am Nil, am Euphrat, am Ganges und Hoangho haben ſich uralte Pflanzſtätten menſchlicher Kultur entwickelt, viele unter ihnen gehören noch heute zu den dichteſt bevölkerten Strichen der Erde. Manche Deltas ſpringen über den übrigen Umriß der Küſte gegen das Meer vor, wie das z. B. beim Po und Miſſiſſippi der Fall iſt, andere halten ſich genau im Profil der Küſte, während wieder andere einſpringende Winkel des Feſtlandes allmählich ausfüllen. In der Regel iſt der Vorgang derart, daß zuerſt eine ſolche einſpringende Partie, die ſchwach ſalziges, ſogenanntes brackiges Waſſer enthält, ein Äſtuarium, ausgefüllt und dann durch immer weiteren Fortſchritt der Ablagerung endlich ein vorſpringendes Delta erzeugt wird, wobei allerdings der Vorgang ſehr häufig durch widrige Verhältniſſe, z. B. durch das Vorhandenſein einer Küſtenſtrömung, unterbrochen wird, ehe er in das letzte Stadium gelangt.

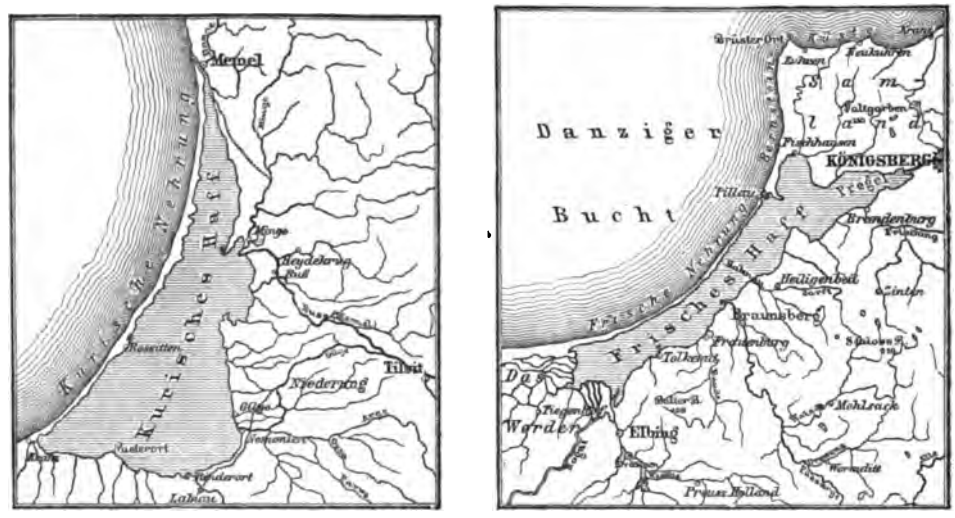


Das Delta des Nils.

Durch die Anſchwemmung wird das Bett des Fluſſes erhöht; es bilden ſich zu ſeinen beiden Seiten Dämme, die aber namentlich in der erſten Zeit leicht durchbrochen werden. Durch derartige Ablagerung, Durchbrechung und Verlegung des Laufes im Mündungsgebiet werden ſehr häufig mehr oder weniger zahlreiche Gabelungen des Fluſſes hervorgebracht, oder er löſt ſich in ein unregelmäßiges Netzwerk von Armen auf, zwiſchen denen zahlloſe Inſeln liegen, während andere Strecken, die verhältnismäßig wenig Sediment erhalten, von den erhöhten Rändern der Flußarme ganz umgeben werden und als Binnenſeen zurückbleiben.

In hohem Grade wird die Deltabildung durch das Vorhandenſein natürlicher Strandwälle befördert. Die Flut des Meeres wälzt Sand und Gerölle gegen die Ufer, und die Ebbe iſt nicht immer im ſtande, ſie wieder zurückzuführen; ſie häufen ſich dann in Form von Wällen an, die

nicht nur unmittelbar der Küste folgen, sondern da, wo sehr seichte Buchten gegen das Festland einspringen, auch diese Buchten eindämmen können. Dieser Vorgang macht sich besonders dann energisch geltend, wenn im Hintergrunde der Bucht ein Fluß einmündet, indem eine Menge fester Teile namentlich in demjenigen Striche niederfällt, in welchem die vom Meer her vordringende Flut und die vom Lande her wirkende Strömung des Flusses sich gegenseitig zum Stillstand bringen. Auf diese Weise bilden sich Lagunen, die vom Meer nur durch schmale, von einzelnen engen Eingängen durchbrochene Landzungen getrennt sind. Die bekanntesten Beispiele bilden die „Haffe" (Lagunen) der Ostsee, die durch schmale „Nehrungen" (Landzungen) vom Meer getrennt werden (s. die untenstehenden Kärtchen), ferner die Etangs der französischen Küste, die Lagunen von Venedig, die durch den „Lido" abgesperrt sind, die Limane im Schwarzen Meer ꝛc.



Das Kurische und das Frische Haff.

Innerhalb dieser von Nehrungen abgeschlossenen Lagunenbecken geht natürlich die Ablagerung von Sedimenten, die Deltabildung, in gesteigertem Maße vor sich. Ein ausgezeichnetes Beispiel eines durch solche Landzungen in seinem Umfang bedingten Deltas ist das Mündungsgebiet des Nils in Unterägypten. Dieser gewaltige Schwemmlandbezirk von etwa 2200 qkm Oberfläche ist in der deutlichsten Weise gegen das Mittelmeer durch Nehrungen abgegrenzt; die hinter diesen gelegene gewaltige Lagune ist bis auf einige seichte, sumpfige Seen ausgefüllt, ein Vorbauen des Deltas über den schützenden Gürtel der Strandwälle hat aber nur im allerbeschränktesten Maße stattgefunden. Ein anderes Beispiel zeigt uns die venezianische Küste. Hier sind im Norden die Lagunen von Venedig und Chioggia durch den Strandwall des Lido vom Adriatischen Meer getrennt, im Süden liegen die ähnlich abgegrenzten Lagunen von Comacchio, und zwischen beiden springt das Mündungsland der Etsch und des Po beträchtlich in das Meer vor (s. das Kärtchen, S. 526); quer durch das Meer aber zieht sich eine geradlinige Kette alter Dünenhügel, die die direkte Verbindung zwischen dem Lido von Venedig und dem von Comacchio bildet und einen ehemaligen Uferwall vorstellt. Ursprünglich war also offenbar über die ganze Strecke hin eine zusammenhängende große Lagune vorhanden, deren Mitte Po und Etsch mit ihren Sedimentmassen ausfüllten, während der nördliche und südliche Teil durch die kleineren Flüsse, die hier einmünden, nicht verlandet werden konnte. Jene beiden großen Ströme dagegen bauen in verhältnismäßig raschem Tempo über den Strandwall hinaus und haben der

offenen Adria ſchon ein beträchtliches Stück Land abgewonnen. Vom 13. bis 17. Jahrhundert rückte das Po-Delta jährlich um etwa 25 m vor, in neuerer Zeit, infolge der Flußregulierungsarbeiten und Dammbauten, ſogar um etwa 70 m im Jahr, und der Landgewinn beträgt über 1 qkm jährlich. Als ein drittes Beiſpiel der Deltabildung mag der Miſſiſſippi gelten, bei dem wir keine Abhängigkeit von Nehrungs- und Lagunenbildung bemerken. Die rieſigen Waſſermaſſen des „Vaters der Ströme" führen eine außerordentlich große Menge feſter Teile ins Meer: man ſchätzt ſie auf 28 Millionen Kubikmeter im Jahr. Er hat ein mächtiges, breites Delta in den Golf von Mexiko gebaut, deſſen Größe etwa 3200 qkm beträgt. Mehrere kleinere Arme, dort Bayou genannt, zweigen ſich von dem Hauptſtrom ab, dieſer ſelbſt aber ſchiebt ſein Schwemmland in einer ſehr eigentümlichen Weiſe vor; er hat zu ſeinen beiden Seiten einen verhältnismäßig ſchmalen Damm ins Meer hinausgebaut, dann gabelt er ſich in drei Arme, die ſogenannten Päſſe, von denen jeder wieder von ähnlichen Dämmen eingeſäumt iſt, die der Fluß fortwährend durch Anſchwemmung erhöht und weiter verſchiebt (ſ. das Kärtchen, S. 527).

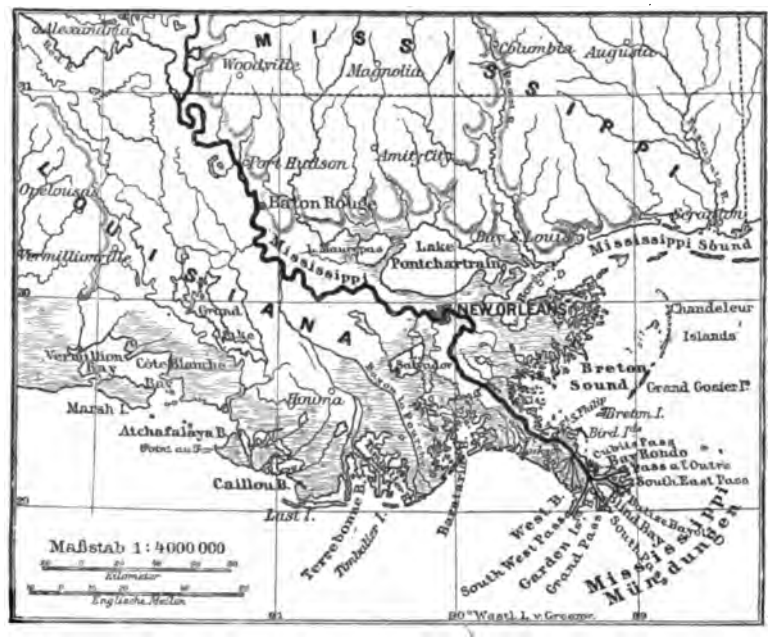
Das Delta des Po. Vgl. Text, S. 525.

So gewaltig dieſe Anſchwemmungen am Nil und Miſſiſſippi ſind, ſo werden ſie doch von denen der aſiatiſchen Rieſenſtröme noch bedeutend übertroffen; die vereinigten Mündungen des Ganges und Brahmaputra haben ein Delta von mehr als 8000 qkm, und noch bedeutend größer iſt das des Hoangho in China, des ſedimentreichſten unter den großen Strömen der Erde, der mit ſeinen fahlen Fluten dem Gelben Meer Farbe und Namen gegeben hat.

Aber nicht alle Flüſſe, die ſich ins Meer ergießen, gewinnen dieſem durch Anſchwemmung Land ab und bauen Deltas, auch wenn ſie große Mengen von feſten Teilen mit ſich führen. Viele bedeutende Ströme bewirken nicht nur keine Vorſchiebung des Landes, ſondern beſitzen im Gegenteil eine bedeutend erweiterte und trompetenförmig geſtaltete Mündung. Weit hinauf macht ſich dann namentlich in ſolchen Flüſſen die Wirkung von Ebbe und Flut geltend. Elbe, Weſer, Themſe, Gironde, Seine und Tejo in Europa, Ob und Jeniſſei in Nordaſien, der Kongo in Afrika, der Lorenzſtrom und der Marañon in Amerika ſind ausgezeichnete Beiſpiele dieſer Mündungsform.

Die Frage, welche Urſachen in einem Falle eine einfache, im anderen eine Trompetenmündung, im dritten Deltabildung veranlaſſen, iſt noch nicht endgültig gelöſt. Der Grund hierfür liegt jedoch nicht etwa in dem Wirken eines noch unbekannten und rätſelhaften Faktors, ſondern lediglich darin, daß man in der Regel für die Geſamtheit aller der Erſcheinungen nach einer gemeinſamen Urſache zu ſuchen pflegt und glaubt, ſie alle aus einem einfachen Prinzip erklären zu können, während in Wirklichkeit eine Menge ſehr verſchiedenartiger Vorgänge ihren Einfluß ausüben und eine und dieſelbe Erſcheinung durch ganz verſchiedene Urſachen bedingt werden kann. So kann z. B. der Mangel von Delta-Anſchwemmungen davon herrühren, daß der Fluß zu raſches Gefälle hat, indem dann das ſchlammbeladene Süßwaſſer ſehr weit ins Meer hinausfließt und den Schlamm mit hinausträgt. Wieder in einem anderen Falle wird die

Vorschiebung des Landes dadurch verhindert, daß der Fluß, kurz ehe er das Meer erreicht, einen Binnensee passiert und daselbst seine schwebenden Teile abgesetzt hat, wie das z. B. beim Lorenzstrom zu sehen ist. Auch das Relief des Meeresbodens an der Mündung eines Flusses ist von großer Wichtigkeit; an einer Flachküste geht die Deltabildung viel leichter vor sich als an einer Steilküste, aber auch an dieser ist sie durchaus nicht unmöglich, wenn reichlich Sediment zugeführt wird. Von Bedeutung ist ferner die Einwirkung von Ebbe und Flut, die wohl in der Mehrzahl der Fälle der Deltabildung entgegenwirken, wie aus dem Umstande hervorgeht, daß in Binnenmeeren mit sehr schwachen Gezeiten die Deltas häufiger sind als an offenen Meeresküsten. Umgekehrt läßt sich aber auch der Fall sehr wohl denken, daß ein Fluß, der sonst zur Deltabildung zu rasch fließen würde, durch die stauende Wirkung der in seine Mündung eindringenden Flutwelle gezwungen wird, seine festen Teile fallen zu lassen.



Das Delta des Mississippi. Vgl. Text, S. 526.

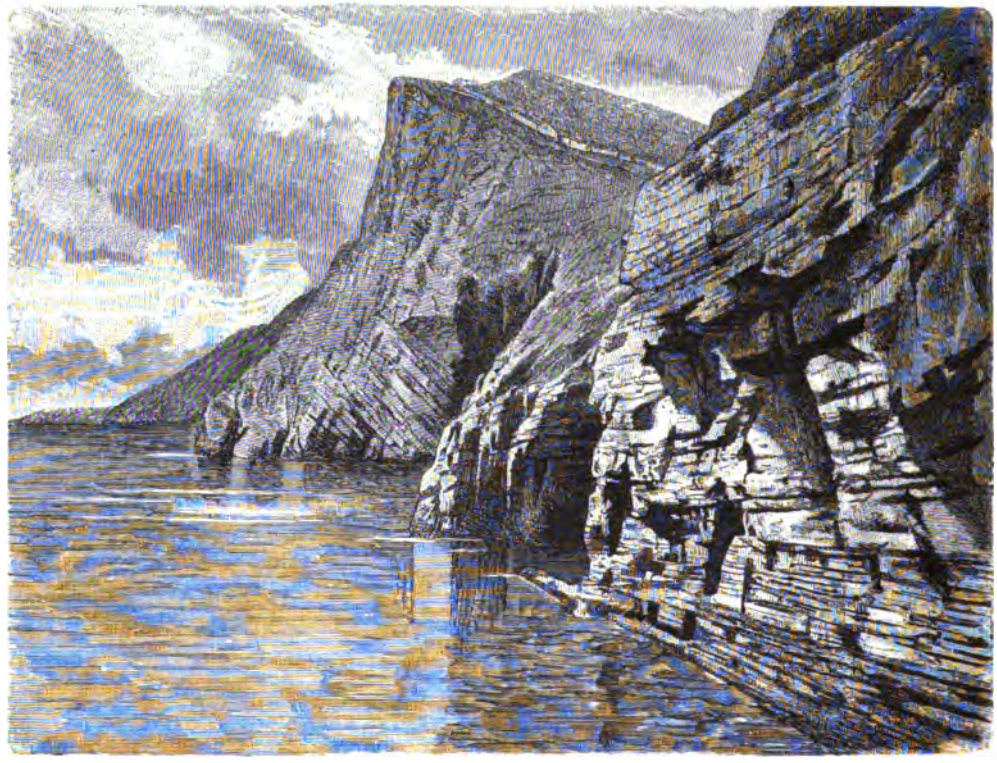
Endlich hat man auch dem Einfluß von Hebung und Senkung des Landes oder von Schwankungen des Meeresspiegels große, ja vor allem entscheidende Wirkung beigemessen in der Weise, daß Deltabildung nur an sich hebenden Küsten vorkommen soll, während an untersinkenden Strichen zwar auch Sedimente zur Ablagerung gelangen, aber untermeerisch bleiben. Ohne Zweifel muß die negative Strandverschiebung oder Hebung des Landes die Bildung eines Deltas begünstigen, während die positive den entgegengesetzten Einfluß hat; aber es ist doch nicht ausgeschlossen, daß bei besonders reichlicher Ablagerung von Sinkstoffen die hemmende Wirkung der positiven Strandverschiebung ausgeglichen und trotzdem ein Delta aufgebaut wird, während umgekehrt auch Küsten, die sich im Zustande der sogenannten säkularen Hebung befinden, aus den schon besprochenen Gründen deltafrei sein können. Daß die negative Strandverschiebung kein notwendiges Erfordernis zur Bildung eines Deltas ist, ergibt sich aus der auffallenden Häufigkeit der Deltas in Binnenmeeren.

Zerstörende Wirkung des Meeres.

Gänzlich verschieden von der Art und Weise, wie fließendes Wasser die Gesteine angreift, ist die Einwirkung der stehenden Wasser und speziell die des Meeres. Die Thätigkeit des Meeres beschränkt sich auf einen verhältnismäßig sehr kleinen Raum; wo das Wasser einigermaßen tief ist, da zeigt es keinerlei Bewegung, die geeignet wäre, eine erodierende Wirkung hervor

zu bringen, ſondern lagert Sedimente ab; zerſtörend tritt es nur an ſeiner Oberfläche an dem äußerſt ſchmalen Gürtel auf, wo es brandend ſeine Ufer peitſcht, wenn die ſteigende Flut oder der Wind ſeine Wellen emportreibt.

In dieſer ſchmalen Zone aber iſt der zerſtörende Einfluß des Meeres ſehr beträchtlich. Namentlich an den Küſten des offenen Ozeans haben die Brandungswellen eine ſo außerordentlich große Kraft, daß ſie bei heftigen Stürmen Felsblöcke von mehr als 100 Zentnern Gewicht zu bewegen und aufwärts zu rollen vermögen. Dynamometriſche Apparate geſtatten eine Meſſung der mechaniſchen Leiſtung der Brandung, und man hat gefunden, daß der horizontale Druck



Meeresſtrand bei Porto Venere in Ligurien. (Nach Photographie.) Vgl. Text, S. 531.

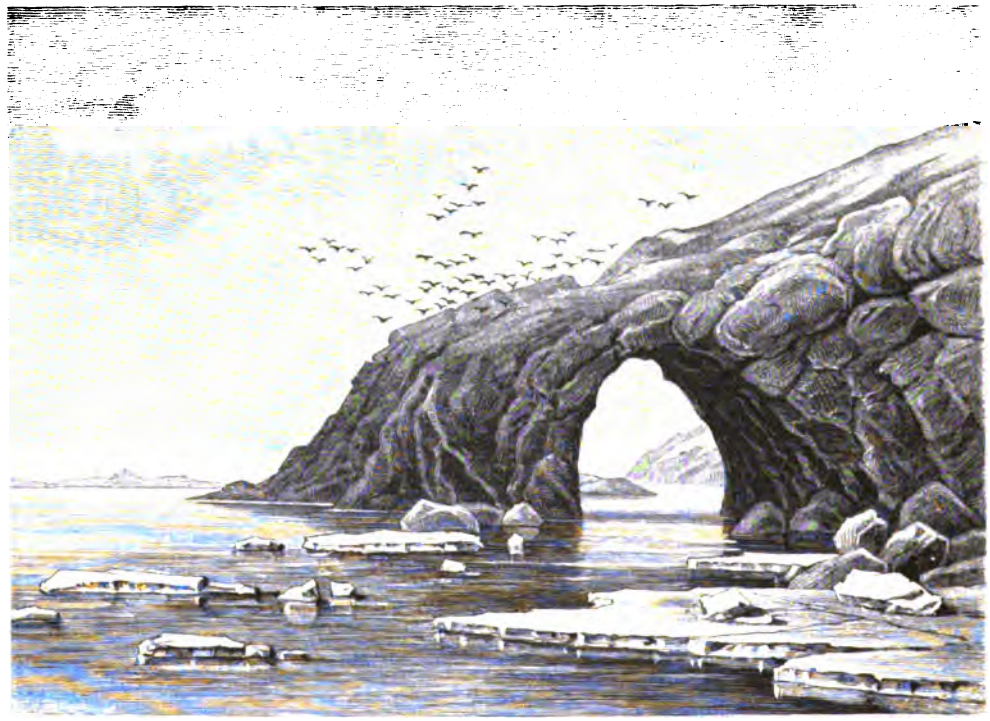
der Wellen z. B. am Briſtolkanal 137 kg, der vertikale aber 11,500 kg auf das Quadratmeter betragen kann; bei Civitavecchia beträgt der Druck 16,000 kg, an der nordſchottiſchen Küſte bei ſehr ſtarken Stürmen ſogar 30,000 kg auf das Quadratmeter. Derartige mechaniſche Kräfte erklären die faſt unglaublichen Zerſtörungen, die an ſturmreichen Küſten vorgekommen ſind. So wurden auf Unſt, der nördlichſten Shetlandinſel, ſchon wiederholt die Fenſter des Leuchtturmes in 59 m Höhe über dem Meeresſpiegel durch die aufgepeitſchten Brandungswellen eingedrückt. An dem Wellenbrecher von Wick in Schottland wurde ein Steinblock von 320 cbm Inhalt, der auf drei Betonwürfeln verankert war, mit dieſen ins Meer geriſſen und dabei ein Gewicht von 13,500 Zentnern ungefähr 15 m weit bewegt!

Mancherlei Umſtände unterſtützen überdies die Wirkung der Brandung. Die Salze, die Kohlenſäure, der Sauerſtoff des Meerwaſſers freſſen an dem Ufergeſtein und machen es morſch, Bohrmuſcheln, bohrende Würmer, Seeigel und Schwämme lockern den Zuſammenhang und ſchaffen neue Angriffsflächen. Mit vielfach gegabelter Wurzel klammern ſich langblätterige

Küſte der Inſel San Magen. Vgl. Text, S. 531.

Bändertange an die Felsblöcke und Klippen der Uferzone, und jede Wellenbewegung wird dadurch allmählich auf das Geſtein übertragen, ſo daß es endlich gelockert und bei einem kräftigen Sturm ſamt dem Tange ausgehoben wird. An nordiſchen Küſten arbeitet der Froſt mit, das Ufergeſtein zerfällt durch das Gefrieren des in alle Spalten eindringenden Meerwaſſers. Überdies führen die Wellen, wenn ſie ſich auf den Strand ſtürzen, ganze Ladungen von Rollkieſeln, Sand oder Schlamm mit, die ſie gleich Geſchoſſen gegen die Felswände ſchleudern, und erhöhen dadurch nicht unweſentlich ihre Eroſionskraft.

Wo das Meer ſo gewaltige Kräfte entwickeln kann, muß denn auch eine Leiſtung von hoher geologiſcher Bedeutung erfolgen. Es iſt bekannt, daß z. B. Helgoland in früherer Zeit viel größer



Das Bürgermeiſterthor auf der Bäreninſel. (Nach Nordenſkiöld.) Vgl. Text, S. 532.

war als heute, und daß das Meer bei wiederholten Sturmfluten große Stücke von ſeinen Rändern losgeriſſen hat; heute iſt die Inſel vielfach kleiner, als ſie vor 1000 Jahren war, wenn auch in den alten Darſtellungen manche grobe Übertreibungen vorhanden ſein mögen. Auch an einigen Küſtenſtrichen von England und der Normandie werden faſt jährlich beträchtliche Schollen losgeriſſen, und ſtellenweiſe iſt der Landverluſt kein geringer; an der Küſte von Suffolk rückte z. B. das Meer in den Jahren 1824—29 um 16 m landeinwärts vor.

Ebenſo große, ja wahrhaft erſchreckende Fortſchritte macht die Zerſtörung des Landes an der Küſte von New Jerſey, denn es ergibt ſich aus dem Vergleich älterer und neuerer Küſtenaufnahmen für Long Beach ein Zurückweichen des Landes um 5 m im Jahr, für Kap May um 3 m. Beſonders raſch verfallen die lockeren Aufſchüttungen neugebildeter Vulkaninſeln dem Andrang der Wellen, wofür wir bei Beſprechung der Vulkane eine Reihe von Beiſpielen kennen gelernt haben (ſ. S. 190), und dasſelbe gilt für Inſeln mit ſandigem Boden. Die Sandinſel (Sable Island) öſtlich von Neuſchottland beſaß nach den älteſten franzöſiſchen Karten eine Länge von

74 km, eine Breite von 4,16 km; im Jahre 1776 reduzierte sie eine englische Admiralitätskarte um 18,5 km in der Länge und 460 m in der Breite, und im Jahre 1890 war das halbmondförmige Eiland nur noch 40,7 km lang und 1,85 km breit.

Man darf aber die zerstörende Wirkung des Meeres nicht allein nach diesen Ausnahmefällen bemessen, bei denen besonders günstige Umstände der Brandung entgegenkommen. Denn nicht nur die lose Beschaffenheit der jungen vulkanischen Aufschüttungen und der Sandinseln erleichtern die Meereserosion, sondern auch die felsigen Steilküsten, um die es sich bei den Beispielen raschen Zurückweichens des Landes gewöhnlich handelt. Diese sind nämlich meist in

Meeresstrand auf der Insel Capri. Vgl. Text, S. 532.

hohem Grade zerklüftet und von zahlreichen Spalten durchsetzt, so daß das Felsgefüge schon gelockert und dem Angriff des Meeres in ausgiebiger Weise vorgearbeitet ist (s. Abbildung, S. 528). Ferner begünstigen die Steilküsten den Vorgang der Unterhöhlung, der hauptsächlich den Zerfall des Küstengesteins herbeiführt.

Das Meer erodiert nämlich an steilen Felsküsten in dem ganzen Raum, an dem es brandet, d. h. von dem Stande der tiefsten Ebbe bis empor zu der Linie, bis zu der es bei den höchsten Sturmfluten seine Wellen noch emporschleudert, am stärksten jedoch zwischen der halben Fluthöhe und der oberen Brandungsgrenze; hier nagt es das Gestein unmittelbar aus und erzeugt dadurch eine Höhlung, eine konkave Fläche, die gegen das Land einspringt. Dringt nun diese Ausnagung tiefer und tiefer ein, so verlieren die höher gelegenen Massen, die vom Wasser nicht mehr erreicht werden, ihre Stütze und Unterlage und brechen herab. Das Meer wirkt also mittelbar auch auf die Teile des Absturzes, die es nicht berührt, und erzeugt auf diese Weise die senkrecht abstürzenden Uferklippen, die seine Gestade vielfach umsäumen (s. Abbildung, S. 529). Nicht selten

wird der Strand derart unterwühlt, daß es zur Bildung förmlicher Strandhöhlen, Grotten oder Felſenthore kommt. Ein berühmtes Beiſpiel dieſer Art iſt die herrliche Blaue Grotte auf Capri, typiſcher aber ſind die Unterhöhlungen an der engliſchen Steilküſte oder auf Helgoland ausgebildet. Die Abbildung auf S. 530 zeigt dieſe Erſcheinung von der Bäreninſel.

Wenn derartige Grotten oder Felſenthore einſtürzen, wird die Küſtenlinie mit einem Schlage um ein gutes Stück landeinwärts verlegt, und in einiger Entfernung vom Strande erheben ſich ſteile Felſen, die als Wellenbrecher dem ſteten Anſturm der Salzflut trotzen. Manche Klippen, namentlich an kalkigen Steilküſten, mögen in dieſer Weiſe vom Feſtland oder der Inſelmaſſe losgelöſt worden ſein (ſ. Abbildung, S. 531). Für die Schnelligkeit der Küſtenzerſtörung ſind Schichtſtellung und Wechſel der Geſteinsbeſchaffenheit von großer Bedeutung. Wo die Schichten

Strandpartie von Herrevik auf Gotland. (Nach Lindſtröm.)

dem Meer zufallen, muß die Brandung an der geneigten Schichtfläche hinaufrollen; ſie hat dabei nicht nur das Waſſer zu heben und die Reibung zu überwinden, ſondern ihre Kraft wird auch durch das auf derſelben Fläche zurückfließende Waſſer erſchöpft. Aus demſelben Grunde iſt die Wirkung der Meereserоſion auch an allen Flachküſten ſehr gering. Wenn dagegen die Schichten landeinwärts einfallen, prallt die ganze Wucht der Brandung unmittelbar auf die Schichtköpfe und findet ſo die günſtigſten Bedingungen für das Unterwaſchen der Steilküſte. Ein gutes Beiſpiel dafür bietet die Inſel Helgoland: an der Nordoſtküſte, wo die Schichten meerwärts fallen, kann man bei Ebbe die großen Steintafeln des Strandes ſehen, an denen das Meer nur geringe Spuren ſeiner Thätigkeit zurückgelaſſen hat; an der ſüdweſtlichen Küſte dagegen ſenken ſich die Schichten landeinwärts, und dort treten daher die maleriſchen Felspfeiler und Grotten auf, die die Wahrzeichen des zerſtörend vordringenden Meeres bilden.

Liegen die Schichten horizontal und befindet ſich in der Strandhöhe eine wenig widerſtandsfähige Schichtgruppe, die von einer härteren überdeckt iſt, dann ſind die Bedingungen für die Bildung der Brandungshohlkehle beſonders günſtig: es entſtehen überhängende Ufergeſimſe, die nach einiger Zeit einſtürzen müſſen (ſ. obige Abbildung). Die Wirkung iſt anfangs ſehr groß; beſonders wenn auch günſtige Klüftung das Abbrechen unterſtützt (ſ. Abbildung, S. 533);

dann aber macht sich die Neigung zur Bildung einzelner, den härteren Schichten entsprechender Staffeln geltend, und diese schwächen die Kraft der landwärts brandenden Woge und verzögern somit den Zerstörungsprozeß.

Dadurch, daß die Wogen immer weiter landeinwärts nagen und die höher gelegenen Teile entfernen, die unterhalb gelegenen Partien, die ständig vom Wasser bedeckt sind, verschonen und auch diejenigen nur wenig angreifen, welche nur bei tiefer Ebbe frei gelegt werden, bildet sich am Fuße der Klippen eine fast horizontale, nur wenig landeinwärts ansteigende Plattform. Durch das Auftreten dieser Fläche wird eine Veränderung und Verzögerung in dem Gange des Zer-

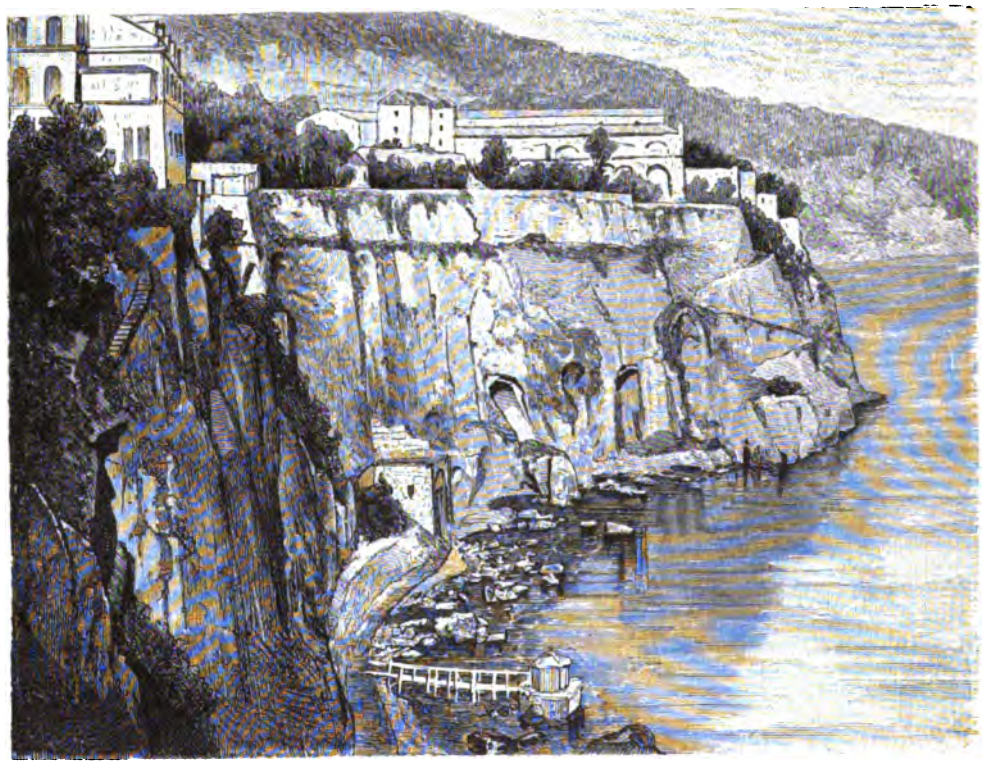
Strandpartie von Asund auf Gotland. (Nach G. Nathorst.) Vgl. Text, S. 532.

störungsprozesses herbeigeführt. Wenn unterwaschene und ihrer Stützen beraubte Massen von oben herabbrechen, so stürzen sie nicht mehr in tiefes Meer, sondern bleiben auf der Plattform aufgehäuft liegen und bilden eine Schutzwehr für die dahinterliegende Klippe (s. Abbildung, S. 534); die Brandung verbraucht nun ihre Kraft, indem sie die Blöcke und Trümmer herumwälzt, abrollt, zerkleinert und zu feinem Sand zerreibt, und erst, wenn die heruntergestürzten Massen der Hauptsache nach weggeräumt sind, kann die Zerstörung der dahinterliegenden Steilwand wieder beginnen. Man hat dieses Verhalten sogar praktisch benutzt, um dem Fortschritt des Meeres ein Hindernis entgegenzusetzen: an der Shakespeare-Klippe bei Dover z. B. hat man mit riesigen Pulvermengen den oberen Teil der Klippe weggesprengt und ins Meer hinuntergestürzt, wo nun diese gewaltigen Massen von Felsblöcken auf Jahrhunderte hinaus dem weiteren Fortschreiten der Überflutung ein Hemmnis entgegensetzen.

Abgesehen von solchen periodischen Unterbrechungen wird die Erosion aber auch allein durch das Vorhandensein der Küstenplattform in ihrer Macht gemindert, da die Wellen die geneigte Fläche hinauflaufen müssen und dabei an Kraft verlieren, ehe sie den Steilrand erreichen; und

mit der fortwährenden Ausdehnung der Plattform wird endlich ein Punkt erreicht, wo jede weitere Zerſtörung aufhört. Es geht daraus hervor, daß bei vollſtändig gleichbleibendem Niveau des Meeresſpiegels ein Stand eintreten würde, wo an allen Steilrändern die Eroſion aufhören müßte, daß alſo nur ein verhältnismäßig ſchmaler Strich an allen Küſten zerſtört werden könnte, wenn nicht durch Veränderungen im gegenſeitigen Stande von Land und Meer neue Angriffspunkte geſchaffen würden.

Bei einer ſolchen Verſchiebung wird die Zerſtörung der Ufer eigentümlich modifiziert; ſteigt eine Küſte langſam und allmählich aus dem ſinkenden Meeresſpiegel hervor, ſo kann während



Meeresſtrand bei Sorrento. Vgl. Text, S. 533.

der Dauer dieſer Bewegung keine bleibende Brandungsterraſſe entſtehen. Es kann ſich zeitweilig eine ſolche bilden, aber in dem Maße, als die Bewegung fortdauert, wird ſie auch immer wieder zerſtört. Wenn die Verſchiebung gleichartig fortgeht, die Verhältniſſe der Brandung ſich nicht ändern und das Geſtein dasſelbe bleibt, ſo wird mit dem Aufſteigen der Küſte ihr Rand gleichmäßig abgehobelt; nur in Ruhepauſen findet eine ſtärkere Plattformbildung ſtatt, und wenn dann die Bewegung wieder beginnt, iſt dieſe als ſogenannte gehobene Strandlinie über dem Meeresniveau zu ſehen, wie wir deren Auftreten früher (S. 406) kennen gelernt haben.

Wichtiger und tiefgreifender ſind die Veränderungen, die die Brandung hervorbringt, wenn ſich das Land ſenkt und der Meeresſpiegel anſteigt. Dann wird das Hindernis, das die Bildung einer breiten Küſtenplattform dem Vordringen der Zerſtörung ins Innere des Landes entgegenſetzt, durch die fortwährende Senkung hinweggeräumt, und die Brandung kann daher ungehemmt vorrücken. Findet die Untertauchung des Landes langſam genug ſtatt, ſo kann das Meer bei ſeinem Vordringen alle Unebenheiten, ſelbſt namhafte Gebirge, vollſtändig abhobeln,

und es wird an deren Stelle eine langsam ansteigende Fläche gebildet. Auf dieser Fläche bleibt aber ein großer Teil des durch die Zerstörung der Gesteine entstehenden Materials liegen, und es bilden sich übergreifend gelagerte, vollständig oder nahezu horizontale Schichten. Eine Zeitlang war man, namentlich in England, geneigt, fast jeden im Innland auftretenden Erosionssteilrand und die Bildung der ihm vorliegenden Fläche der Abtragung durch Meeresbrandung zuzuschreiben. Später wurde diese Ansicht verlassen, bis in neuerer Zeit F. von Richthofen bei seinen Untersuchungen über China auf Verhältnisse traf, die keine andere Erklärung zulassen, und daher wieder auf die Bedeutung dieses Vorganges hinwies, den er als Abrasion bezeichnete. Seine Auffassung, die für die Deutung sehr wichtiger und verbreiteter Erscheinungen von maßgebender Bedeutung ist, wird wohl am besten durch seine eigenen Worte klar gemacht:

„Unter den gestaltenden Faktoren, welche in der geologischen Geschichte des nördlichen China eine bedeutsame Rolle spielen, zeichnet sich in besonderer Weise das periodische Auftreten transgredierender Lagerung aus. In der Mehrzahl der Fälle sind die Schichten der übergreifenden Formation nicht, wie man es bei der Ausbreitung des Meeres über Festland erwarten sollte, einem gebirgigen, aus Höhenzügen und Erosionsthälern bestehenden Boden aufgelagert, sondern sie ruhen weit und gleichförmig auf einer gewissermaßen für den Niederschlag besonders vorgebildeten Fläche, die größtenteils ausgeebnet ist, stellenweise wellige Formen hat und zuweilen in Terrassen abgesetzt ist. Auch ragen aus ihr mehr oder minder einzelne feste und hohe Gebirgskerne auf, welche dann von den horizontalen Schichten ganz oder teilweise bedeckt werden. Die Auflagerungsfläche durchschneidet die den transgredierenden Gebilden im Alter vorhergehenden Formationen unabhängig von ihrer Lagerung. Sind die Schichtgesteine derselben hoch aufgerichtet und zusammengefaltet, so sind diese Falten entlang der Fläche wie abgehobelt, indem alle Teile, welche einst über diese aufragten, verschwunden sind. Der Betrag der Denudation ist oft außerordentlich groß. Einzelne noch erhaltene Mulden sind manchmal die einzigen Überreste von Sedimentformationen, welche viele Tausend Fuß Mächtigkeit hatten und in einer Reihe von Gewölben zusammengefaltet waren. Es sind dann nicht nur die aus diesen Formationen bestehenden Gewölbe hinweggeschliffen, sondern auch solche Teile noch älterer Gesteine, welche zwischen ihnen aufragten, in gleicher Weise entfernt worden.

„Es ist in solchen Fällen klar, daß die betreffenden Sedimentformationen nach der Zeit ihrer Ablagerung zu Gebirgen aufgestaut waren, und daß diese Festland bildeten; denn am Meeresgrunde konnte dies nicht geschehen. Es ging also jeder Periode der Transgression eine ungeheure Abschleifung des zur Zeit bestehenden Festlandes voran und zwar in Gestalt einer Fläche, welche die Tendenz hat, sich der welligen Ebene möglichst zu nähern, wiewohl dies in mehr oder weniger unvollkommener Weise erreicht wird."

Diese Erklärung ist ohne Zweifel richtig; es kann nicht bestritten werden, daß die fortschreitende Küstenbrandung einen derartigen Erfolg erzielen kann und ihn auch in vielen Fällen erzielt hat. Nichtsdestoweniger wird man sich vor der Verallgemeinerung hüten müssen, daß alle „abgehobelten" Landstrecken, die die geschilderte Form zeigen, diese durch Transgression eines brandenden Meeres erlangt haben. Es wurde schon erwähnt, daß bei einer Abrasion durch vordringendes Meer das Zerreibsel auf der Abrasionsfläche liegen bleibt und übergreifende Schichten erzeugt; in allen den Fällen, in denen wir solche marine Bildungen wirklich aufgelagert finden, ist die Abtragung durch das brandende Meer bewirkt worden (s. Abbildung, S. 365). Anders verhält es sich, wenn die transgredierenden Schichten fehlen; oft mögen sie wohl durch Denudation nachträglich entfernt worden sein, es ist aber kaum anzunehmen, daß dies in allen Fällen geschehen ist. Auf eine vollständige Unmöglichkeit treffen wir aber, wenn wir die Verhältnisse Böhmens ins Auge fassen: auch hier liegen horizontale Schichten übergreifend auf den

Schichtköpfen der archäischen, silurischen und devonischen Formation, aber sie bestehen nicht aus einer Meeresablagerung, sondern bilden nach ihren Versteinerungen aus einem Binnensee abgesetztes, flözführendes Kohlengebirge.

Wir kommen dadurch zu dem Resultat, daß Abrasionsflächen unter Umständen ohne Mitwirkung der Meeresbrandung entstehen können, und wir werden diese Erklärung als die wahrscheinlichere bezeichnen, wenn über der Fläche keine Meeresablagerungen in übergreifender Lagerung auftreten. Die Frage ist nun, auf welche Weise eine solche Bildung ohne die Hilfe der Meereswellen entstehen kann. Schon früher wurde erwähnt, daß alle Gebirge der Erde im Verlauf der Zeit durch die fließenden Wasser zerstört werden müßten, wenn kein Ersatz durch neue Aufrichtung geboten wäre; es ist ferner eine durch zahllose Beobachtungen nachgewiesene Thatsache, daß in vielen Gegenden, die früher energische Gebirgsbildung erkennen ließen, dieser Vorgang aufgehört hat: die betreffenden Gebirge werden allmählich vollständig zerstört, und nach den Gesetzen des Gefälles der Flüsse müßte das ganze Land eine gegen das Meer sanft abfallende Gestalt zeigen, ebenso gut, wie das bei einer marinen Abrasionsfläche der Fall ist. Auch die vollkommene Unabhängigkeit der Oberflächenverhältnisse von der Lagerung muß sich bei einem „erloschenen Gebirge" einstellen, und es macht dabei keinen Unterschied, ob die Abtragung durch das Meer oder durch fließendes Wasser erfolgt ist.

Wirkung des Eises.

Wenn auch dem fließenden oder brandenden Wasser weitaus die größte Wirksamkeit zukommt, so sind doch neben ihm auch andere zerstörende Faktoren thätig: in erster Linie das gefrorene Wasser, Eis und Schnee. Der Schnee hat allerdings direkt geringen Einfluß, wenn auch die Lawinenzüge des Hochgebirges oft viel Erdreich und Steine in die Tiefe wälzen; indirekt kommt ihm dagegen eine viel größere Wichtigkeit insofern zu, als in der weißen winterlichen Decke, die sich über Berge und Thäler ausbreitet, die Niederschlagsmenge mehrerer Wochen oder Monate aufgespeichert wird und beim Eintritt warmen Wetters rasch zum Abfluß gelangt. In kurzer Zeit führen dann Bäche und Flüsse sehr viel Wasser, ihre erodierende und transportierende Kraft wird währenddessen in hohem Grade gesteigert.

Weit mehr muß uns das Eis in seinen verschiedenen Formen beschäftigen. Die Eisdecke, die sich im Winter über Seen und seichte Meeresteile spannt, besitzt freilich nur geringe geologische Wirkung; dagegen sind die Eismassen, die die Flüsse mit sich führen, in vielen Fällen von Wichtigkeit. Anfangs werden die Schollen vom Wasser unaufhaltsam weggeführt, in der Regel tritt aber bald ein Transporthindernis ein, meist dadurch, daß an seichten Stellen, an Sandbänken ꝛc., die Schollen stranden und hängen bleiben und sich immer neue Eispartien anhäufen, bis die ganze Strombreite abgesperrt ist. Von da an kann natürlich kein Eis mehr abfließen, alle von oben nachkommenden Schollen stauen sich, „der Eisstoß stellt sich".

Dabei wird jedoch nicht nur die Oberfläche einfach mit Schollen bedeckt, sondern durch die fortwährende Einwirkung der Strömung werden Zusammenschiebungen größerer Massen herbeigeführt, Schollen werden unter die Decke gerissen, es entstehen „Anschoppungen", die dem Abfluß des Wassers hinderlich werden. Es ist allgemein bekannt, welch furchtbare Katastrophen auf diese Weise entstehen, wie mächtige Überschwemmungen die Niederungen heimsuchen, wenn sich der Strom, durch Eisbarren abgesperrt, über seine Ufer ergießt. Der kritische Moment kommt heran, wenn Tauwetter eintritt: rückt die Wärme vom Unterlauf des Flusses gegen den Ursprung vor, oder findet die Zunahme der Temperatur sehr allmählich statt, dann ist wenig Gefahr zu befürchten; die Eismassen schmelzen allmählich, kleinere Teile lösen sich von der Stirn des Stoßes

und treiben schadlos ab. Aber anders gestaltet sich der Vorgang, wenn in den Quellgebieten rasch warmes Wetter eintritt und infolgedessen bedeutende Massen von Schmelzwasser, selbst noch Schollen treibend, von oben heranbrausen. Kleinere Eisstöße werden auf diese Weise weggefegt, aber ihr Material wird nur bis zur nächsten größeren Stauung fortgeschafft, wo es diese verstärkt und vermehrt. Auch hier beginnt der angeschwollene Fluß die hemmende Decke aufzubrechen, aber noch reicht seine Kraft nicht hin, den ganzen, oft viele Meilen langen Eisstoß zu bewältigen. Was in diesem Stadium am oberen Ende zerstört wird, dient nur zur Verstärkung der weiter stromabwärts liegenden Teile der Barriere, chaotisch schieben sich die Schollen mit brausendem Getöse über- und durcheinander, oft haushohe Anhäufungen emportürmend. Das Wasser tritt nun aus, und es kommen die bangen Tage, wo die Bewohner der Niederung nur durch die Dämme vor der Wut des Stromes geschützt sind, dessen Spiegel vielleicht höher steht als die Dächer der Häuser, und dessen wildes Ungestüm die Schutzmauern zu unterwaschen beginnt. Schon sickern an einzelnen Stellen Wasserfäden durch den gelockerten Damm, und mit fieberhafter Anstrengung beginnt der Kampf um diesen Wall, den man durch rasche Anschüttung an den gefährdeten Stellen zu verstärken und zu erhalten sucht. Endlich ist der Eisstoß nicht mehr im stande, der Gewalt des Wassers zu widerstehen, er setzt sich in Bewegung, majestätisch treiben die gewaltigen Massen auf dem Strome thalabwärts, die Gefahr ist beseitigt, wenn nicht nach kurzem Fließen die ganze Masse wieder zum Stehen kommt. Aber nur für den einen Punkt ist die Befreiung von Wassersnot gekommen, sie beginnt jetzt erst für die thalabwärts gelegenen Strecken, bis endlich alles Eis aus dem Strome geschwunden ist.

Viele von unseren Flüssen, Rhein, Elbe, Weichsel, bedrohen im Frühling ihre Gestade in dieser Weise, und ganz besonders thut dies die Donau. Zwar ist jetzt, seitdem das Strombett bei Wien reguliert ist, diese Stadt von keiner größeren Überschwemmung mehr heimgesucht worden, aber noch ist die Möglichkeit der Wiederkehr einer solchen nicht gebannt; unterhalb Wien, namentlich im westlichsten Teile Ungarns, sind stark versandete Strecken, an denen sich der Eisstoß „stellt", und erst, wenn auch hier das Strombett gereinigt sein wird, kann man mit Ruhe dem Herannahen des Frühlings in jedem Jahre entgegensehen.

Die geologischen Wirkungen dieser durch Eisstauung hervorgebrachten Überschwemmung sind verschiedener Art: zunächst werden, wie bei jeder Überschwemmung, auf diese Weise Sedimente in dem Inundationsgebiet abgelagert und dieses erhöht; ferner werden aber auch Veränderungen augenfälligerer Art hervorgebracht: bei Strömen mit unregelmäßigem und durch Inseln in mehrere Arme geteiltem Laufe „verlandet" oft einer oder der andere von diesen, während sich der Wasserablauf auf die übrigen konzentriert. Wenn nun diese letzteren durch Eisanhäufungen gesperrt sind, so wendet sich das gestaute Wasser mit voller Macht gegen die „verlandeten" Arme, es kann hier die Sandbänke wegräumen und so eine Verlegung des Flußlaufes mit sich bringen. Immerhin ist die Wirkung des Eises bei diesen Vorgängen nur eine mittelbare. In anderer Weise ist das sogenannte Grundeis thätig, das sich am Boden der Flüsse bildet und Gesteinsstücke umschließt. Lösen sich diese Massen vom Grunde ab und werden vom Wasser fortgetrieben, so dienen sie als Transportmittel für die eingeschlossenen Steine, die auf diesem Wege oft in Gegenden befördert werden, in die sie die Strömung ohne die Hilfe des Eises nicht zu bringen vermocht hätte. Dabei erhalten die eingeschlossenen Gerölle, indem sie über steinigen Grund weggeschleift werden, oft ähnliche „Kritzen", wie man sie bei Gletschergeschieben findet. Endlich haben wir noch der weiteren geologischen Thätigkeit des See- und Flußeises zu gedenken, daß z. B. an den märkischen und den großen alpinen Seen lockere Ufersedimente durch den Seitendruck der Eisdecke gestaut und selbst in kleine Falten zusammengeschoben werden.

Die Gletſcher und ihre Bewegung.

Alle dieſe Vorgänge haben eine verhältnismäßig untergeordnete Bedeutung; zu einer umgeſtaltenden Macht erſten Ranges wird das Eis nur da, wo es in ſelbſtändiger Bewegung gleitet und fließt, in den Gletſchern, die ſich von den Höhen alpiner Hochgebirge oder aus dem Inneren polarer Länder vorſchieben. In unſerer Nähe lehren uns zunächſt die Alpen dieſe merkwürdigen Eisſtröme kennen, in einer Entfaltung, die zwar gegen diejenige mancher Polarländer und gegen die mächtige Entwickelung in der Vorzeit ſehr beſcheiden zurückbleibt, aber dennoch ſo bedeutend iſt, daß ſie unſeren Sinnen großartig im höchſten Grade erſcheint und uns die gewaltige Wirkung dieſes Faktors verſtehen läßt (ſ. Abbildung, S. 539).

Wir treten hier an eins der intereſſanteſten geologiſchen Phänomene heran, deſſen Studium dadurch große Bedeutung gewinnt, daß in einer noch nicht ſehr lange hinter uns liegenden Zeit nicht nur die höchſten Gebirgsregionen und einige Polarländer vergletſchert waren, ſondern die Eismaſſen der Alpen bis weit in ihr ebenes Vorland herabſtiegen, diejenigen Skandinaviens ſich bis England, Holland, an den Fuß der mitteldeutſchen Gebirge und der Karpathen, ja ſelbſt bis ins Zentrum Rußlands erſtreckten. Für dieſe in großartigſtem Maßſtab auftretenden Erſcheinungen der Eiszeit gibt uns nur die Unterſuchung der jetzigen Gletſcher die Möglichkeit des Verſtändniſſes, und durch ſie werden wir in einen Zuſtand der Dinge in Europa eingeführt, deſſen Fremdartigkeit ſelbſt eine kühne Phantaſie kaum auszuſinnen wagte, ehe die Macht der Thatſachen ihre Wirklichkeit unwiderleglich bewies.

Es iſt bekannt, daß in einer gewiſſen Höhe über der Meeresfläche, ſelbſt unter dem Äquator, die atmoſphäriſchen Niederſchläge nur in Form von Schnee niederfallen. Im Winter reicht er weiter herab, im Sommer zieht er ſich weiter in die Höhe zurück, bis an die Schneegrenze oder Schneelinie. Die Höhe, in der an irgend einem Orte dieſe Schneegrenze liegt, hängt nicht nur von der geographiſchen Lage und der Wärme, ſondern weſentlich auch von der Menge der Niederſchläge ab; iſt die Menge des winterlichen Schnees ſehr groß, ſo iſt viel mehr Sommerwärme zu ſeiner Schmelzung nötig als in Gegenden mit geringem Schneefall. Es wird das vielleicht am beſten durch das Beiſpiel des Himalaja erläutert, an deſſen milderer, aber ſehr niederſchlagsreicher Südſeite die Schneelinie bei 4940 m liegt, um mehr als 700 m niedriger als auf der rauhen und kalten, aber trocknen Nordſeite.

Die nachſtehende Tabelle gibt die Schneelinie einer Anzahl von Orten an (nach J. Hann):

Ort	Geographiſche Lage	Höhe der Schneelinie	Ort	Geographiſche Lage	Höhe der Schneelinie
	Nördl. Breite	Meter		Nördl. Breite	Meter
Spitzbergen	77°	460	Himalaja (Nordſeite) .	27—34°	5670
Island	65°	936	Karakorum	28—36°	5820
Norwegen	70°	1021[1] 884[2]	Kilimandſcharo (Zentralafrika) . . .	ſüdl. Breite 3°	5000
Norwegen	60°	1680[1] 1360[2]	Südamerikan. Anden: Ecuador	0°	4820
Weſtalpen	45—47°	2700	Bolivia	16°	4850—5620
Oſtalpen	45—47°	2800	Chile	33°	4500
Kaukaſus (Oſtſeite) .	41—44°	4300	Patagonien . . .	42°	1830
Kaukaſus (Weſtſeite) .	41—44°	3570	Magalhäesſtraße . .	52°	1100
Himalaja (Südſeite) .	27—34°	4940	Süd-Georgia . . .	54°	0

[1] Inland. — [2] Küſte.

Der Aletschgletscher im Berner Oberland. Vgl. Text, S. 538 und 540.

In jedem Jahre fällt natürlich über dieser Linie mehr Schnee, als abgeschmolzen wird, und er müßte sich in wenigen Jahrtausenden zu ungeheuer mächtigen Massen anhäufen, wenn nicht für die Wegräumung gesorgt wäre. Diese erfolgt teils durch die eigene Schwere des Schnees, der in die Tiefe gleitet, teils durch die Wirkung der Winde, die den trocknen, sandartigen Hochschnee nach abwärts wehen; hier geht er durch die Einwirkung der Sonnenwärme und warmer Winde, die die Oberfläche schmelzen und das Schmelzwasser versickern lassen, in körniges Firneis über. Bei nicht allzu steilem Gefälle sammelt sich dieses in Mulden oder auf Gehängen in gewaltigen Mengen an, die fortwährend langsam bergab drängen. Dabei geht eine Veränderung der Struktur vor sich, indem durch die weitere und in tieferen Regionen intensivere Wirkung derselben Kräfte, welche den Schnee zu körnigem Firn gestalten, dieser Firn selbst in das kompakte Gletschereis übergeht, dessen von zahlreichen feinen Haarrissen durchzogene Masse in kleineren Stücken wasserhell und farblos, im großen aber von prachtvoller blauer Farbe erscheint. Diese Umänderung geht in der Weise vor sich, daß in den höheren Regionen nur die tiefsten Lagen unmittelbar über dem Boden umgewandelt sind, während weiter abwärts die Masse des kompakten Eises zunimmt, bis endlich nur dieses allein vorhanden ist.

Nicht jeder Berg, der über die Schneegrenze hinausragt, hat die Bedingungen zur Bildung von Gletschern. So trägt z. B. der Ararat keine Gletscher, obwohl er sich mit seiner Spitze nahezu 1000 m über die Schneelinie erhebt. Die Ursache davon liegt in der Gestaltung der Gehänge solcher vereinzelt und schroff aufragender Gipfel; es fehlen die weiten Thalkessel, die sonst als Sammelbecken des Firnschnees dienen und die eigentlichen Quellreservoire der Gletscher bilden. Wo dagegen ein verzweigtes Thalrelief mit weiten Mulden auch nur wenige hundert Meter in das Gebiet des ewigen Schnees hinaufreicht, da schiebt sich die Überfülle des Schnees von allen Steilwänden und Kämmen in die hochgelegenen Thalkessel, es bilden sich weite Firnfelder, und aus diesen fließt der Gletscher, nachhaltig gespeist, als träger, gewaltiger Eisstrom den Thallinien folgend zur Tiefe. In den Alpen ergießen meistens mehrere Firnkessel ihre Schneelast nach demselben Gletscher; steil aufragende, nicht selten ungangbare Bergkämme trennen die Firnmulden voneinander. Ähnliche Verhältnisse bieten der Kaukasus, der Himalaja, die Neuseeländischen Alpen und andere Kettengebirge.

Anders ist es im skandinavischen Hochgebirge: wellige Hochflächen, nur selten durch einen Felskamm geteilt, umschließen flache, einförmige Firnmulden, und der darin angesammelte Firn fließt nicht nach einzelnen Thälern ab, sondern zerteilt sich nach allen Richtungen. Die Gletschermasse schiebt sich am Rande als Ganzes vor, bis sie in den Thälern abbricht oder in Form kleinerer und steiler Gletscher ihr Ende nimmt. Noch weiter entfernt sich vom alpinen Typus das Bild der grönländischen Vergletscherung: diese ist nur teilweise vom orographischen Bau bedingt, weit mehr führt die übergroße Menge von Firn und Eis zu einer fast allgemeinen Überflutung des ganzen Landes mit Gletschereis, aus der nur spärlich einzelne Berggipfel aufragen.

In den Alpen, mit deren Erscheinungen wir uns im folgenden zunächst befassen wollen, unterscheidet man nach dem Vorgang von Saussure die großen Eisströme der Thäler als Gletscher erster Ordnung von den kleineren Gletschern zweiter Ordnung, die, unfähig, in die Thäler hinabzusteigen, an stärker geneigten Bergflanken und Thalwänden herabhängen. Natürlich ist die Zahl der letzteren viel größer als die der ersteren. Man zählt in den Alpen 249 Gletscher erster Ordnung, dagegen über 900 Gletscher zweiter Ordnung; unter den 229 Gletschern der Ötzthaler Gruppe gehören nur 20 in die erste Abteilung.

Die größeren alpinen Gletscher erreichen ein Länge von mehr als 1 deutschen Meile; der Aletschgletscher im Berner Oberland (s. Abbildung, S. 539) hat 23 km Länge, die Mer de Glace

am Montblanc 12 km. In den deutschen Alpen steht der Gepatschferner in der Ötzthaler Gruppe (Kaunser Thal) mit über 11 km obenan, dann folgt die Pasterze am Großglockner mit mehr als 10 km Länge. Die Breite wechselt außerordentlich, selbst an einem und demselben Gletscher, wenn er sich je nach dem Querprofil des Thales bald ausbreitet, bald verschmälert. Bei einer großen Anzahl übersteigt die Breite 1 km, doch ist gerade der Breite, die so wesentlich von den Terrainverhältnissen beeinflußt wird, verhältnismäßig wenig Wert beizulegen; von Bedeutung ist nur, daß sie bei den größeren Gletschern stets sehr erheblich hinter derjenigen ihrer Firnmulden zurückbleibt. Diese Sammelgebiete der Eisströme erreichen oft sehr große Dimensionen, sie betragen bei den bedeutenderen über 5, steigen aber bei einzelnen bis zu 40 qkm. Im ganzen mag in den Alpen ein Gebiet von etwa 3500 qkm vereist sein.

Davon entfällt der größte Teil auf die gewaltigen Gebirgsstöcke der Zentralzone. Die tiefgehendsten großen Gletscher gehören sämtlich den Zentralalpen an. Der Untergrindelwaldgletscher reichte im Jahre 1818 auf 983 m Meereshöhe hinab; im Jahre 1870 stand sein Ende in einer Höhe von 1080 m. Allein dies ist wohl eine Ausnahme, im Mittel gehen die Gletscher erster Ordnung in den Zentralalpen bis etwa 1500 m unter die Schneelinie. In den Ostalpen, wo das Klima trockener, kontinentaler ist, liegen die meisten Gletscherenden bei 1800—2300 m, also kaum 800 m unter der Firngrenze.

Sehr viel schwerer als über die Ausbreitung kann man über die Dicke der Gletscher Daten erhalten. Die beste Methode wäre natürlich, Tiefbohrungen anzustellen; aber dieses zeitraubende und kostspielige Verfahren wurde noch nie in hinreichendem Maße angewendet. Durch Hinabsenken von Leinen in Spalten des Aargletschers konnte Agassiz eine Tiefe von 260 m feststellen, ohne den Boden zu erreichen. In Ermangelung direkter Beobachtungen hat man versucht, die Dicke der Gletscher aus der Neigung des Bettes zu berechnen, und hat auf diesem Wege für die größten alpinen Gletscher den Wert von 400—500 m erhalten. Alle Erfahrungen berechtigen zu der Annahme, daß der Maximalwert von 400 m keineswegs übertrieben ist. Aus solchen Anhaltspunkten läßt sich nun der Rauminhalt der Gletscher bestimmen, und es ist ganz interessant, zu welchen verblüffend großen Werten man hierbei gelangt. So berechnet A. Heim den Rauminhalt des schon genannten Aletschgletschers zu 10,800 Millionen Kubikmeter; man könnte aus dieser Eismasse einen Ring von 250 qm Querschnitt um die ganze Erde legen.

Übrigens ist die Mächtigkeit des Eises in verschiedenen Teilen des Stromes sehr verschieden. Ferner ist in wirksamster Weise die Abschmelzung thätig, so daß der Gletscher von oben nach unten stetig abnimmt und eine schmale, keilförmige oder zungenförmige Gestalt zeigt; man bezeichnet deshalb auch den ausgehenden Teil als die Gletscherzunge. Genaue Messungen über den Betrag der Abnahme nach unten liegen noch nicht vor, man glaubt jedoch, daß der Winkel, den Ober- und Unterfläche miteinander einschließen, nie über 3° ansteigt.

Von dieser sogenannten „spezifischen Neigung" des Eises vollständig verschieden ist die „wahre Neigung des Gletschers", d. h. der Winkel, den er mit der Horizontalebene bildet, und der von dem Gefälle des festen Untergrundes abhängig ist. Dieses ist bei den großen Gletschern erster Ordnung in der Regel sehr gering; mögen auch einzelne Stellen sehr steil sein und zu den sogenannten Gletscherbrüchen Anlaß geben, so ist doch im großen und ganzen der Abfall verhältnismäßig sanft und erreicht kaum je 10°. Anders verhält es sich bei den kleineren Gletschern zweiter Ordnung, die unter Umständen äußerst steil ansteigen, ja in vereinzelten Fällen unter einem Winkel von 50° an den Abstürzen herunterhängen, so daß man kaum begreift, wie sie sich in dieser Lage halten können, ohne in die Tiefe zu stürzen.

Mehr als diese äußeren Verhältnisse ist die Bewegung des Gletschers von Wichtigkeit, weil sie alle die merkwürdigen Erscheinungen erklärt, die uns so fremdartig entgegentreten. Es

wurde ſchon angedeutet, daß der Gletſcher in der That ein in langſamem Fließen begriffener Strom von Eis iſt; er iſt ein Strom, deſſen Bewegung acht- bis zehnmillionenmal langſamer iſt als diejenige einer gleich mächtigen Waſſermaſſe, die über einen Untergrund von derſelben Beſchaffenheit und Neigung hinfließt. Daß ſich der Gletſcher bewegt, iſt ſchon vor langer Zeit erkannt worden, und wohl ſchon längſt, ehe die gelehrte Forſchung dieſe Thatſache verzeichnete, war ſie dem ſcharfen Sinne der Bergbewohner zum Bewußtſein gekommen; „die Gletſcher wachſen wie das Kraut", lautet ein Sprichwort in den Schweizer Alpen.

Den nächſten Schritt bildete die Meſſung des Betrages, um den ſich die Eismaſſe in einer gegebenen Zeit fortſchiebt. Die erſten Angaben finden wir bei Hugi, der im Jahre 1827 auf der Mittelmoräne des Aargletſchers eine Steinhütte hatte bauen laſſen und im Jahre 1830 fand, daß ſie in dieſer Zeit um 100 m thalabwärts gewandert ſei. Agaſſiz fand ſie dann im Jahre 1836: 714 m, im Jahre 1840 nicht weniger als 1428 m von ihrem urſprünglichen Standort entfernt, was alſo im Durchſchnitt etwa 110 m Bewegung für das Jahr ergibt; doch verteilt ſich die Verſchiebung ſehr ungleichmäßig auf dieſen Zeitraum, indem ſie für den erſten Abſchnitt 33 m, für den zweiten 102 m, für den dritten 178 m im Jahr beträgt. Dieſe letztere Beſchleunigung würde 488 mm für den Tag oder ungefähr 2 cm in der Stunde ergeben, was jedenfalls zu den ſchnellſten Bewegungen gehört, die man an Alpengletſchern überhaupt kennt.

Noch einigemal ergab ſich durch Auffindung von Gegenſtänden, die mehrere Jahre vorher an einer genau bekannten Stelle eines Gletſchers zurückgeblieben waren, gleich günſtige Gelegenheit, den Fortſchritt des Eiſes während eines großen Zeitraumes zu beſtimmen. Sauſſure hatte bei ſeinen berühmten Exkurſionen und Unterſuchungen am Montblanc im Jahre 1788 eine Leiter auf der Mer de Glace zurückgelaſſen, deren Reſte man im Jahre 1832 weiter abwärts wieder auffand; ſie hatten jährlich 114 m oder 321 mm im Tage zurückgelegt. Im Jahre 1845 traf Jules Martin dieſelben Bruchſtücke 370 m tiefer, was alſo eine beträchtliche Verlangſamung in dieſer Zeit ergibt. Im Jahre 1846 kam am Ende des Talèfre-Gletſchers der Torniſter eines Touriſten an den Tag, den ein Führer zehn Jahre vorher weit oben beim Sturze in eine Spalte verloren hatte, und man konnte daraus die Bewegung des Eiſes während dieſer Zeit auf 131 m im Jahre oder 359 mm im Tage oder $1^1/_2$ cm ſtündlich berechnen. In derſelben Weiſe gibt auch oft nach Dezennien der Gletſcher die unheimlichen Reſte der Opfer wieder, die auf ſeinen oberen Teilen durch Sturz in eine Spalte verunglückt waren. Am bekannteſten iſt wohl die Kataſtrophe, die ſich am 20. Auguſt 1820 am Montblanc ereignete; der ruſſiſche Naturforſcher Dr. Hamel und zwei engliſche Forſcher hatten ſich mit zahlreichen Führern und Trägern, die die Inſtrumente in die Höhe ſchaffen ſollten, auf den Weg gemacht, um den König der europäiſchen Berge zu erſteigen. Nicht ſehr weit vom Gipfel geriet der auf dem Eiſe liegende loſe Schnee ins Gleiten, er ſtürzte als Lawine in die Tiefe, und drei von den Leuten wurden verſchüttet. 41 Jahre ſpäter kamen am unteren Ende des Glacier du Boſſon Teile der Kleider der Verunglückten und der grüne Gletſcherſchleier des Dr. Hamel zum Vorſchein und wurden von den noch lebenden Führern wiedererkannt; ein Jahr ſpäter wurden eine einzelne Hand und noch andere Reſte gefunden.

Fälle wie diejenigen der Leiter von Sauſſure oder des Torniſters vom Talèfre-Gletſcher geben ſehr wertvolle Durchſchnittsreſultate für längere Zeiträume, aber natürlich reichen ſolche ſeltene Zufälle für eine nähere wiſſenſchaftliche Erkenntnis nicht hin. Man mußte daher zu planmäßiger Unterſuchung greifen, und dieſe wurde von Agaſſiz, Forbes, Tyndall und einer Reihe anderer Forſcher vorgenommen und namentlich in neuerer Zeit mit größter Genauigkeit wiederholt. Die Methoden ſind ſehr einfach: man wählt feſte Standorte am Rande des Gletſchers und viſiert von dieſen aus in verſchiedenen Zeitabſtänden mit Nivellierinſtrumenten auf irgendwelche genau wiedererkennbare Punkte, Felsblöcke oder eingerammte Pfähle auf dem Gletſcher. Muſter-

gültige Arbeiten dieser Art werden seit dem Jahr 1874 auf Veranlassung des Schweizer Alpenklubs am Rhônegletscher vorgenommen. An vier verschiedenen Stellen wurde quer über den Gletscher eine Reihe von dicht aneinander gereihten faustgroßen Steinen gelegt und innerhalb der Reihen von 20 zu 20 m je ein größerer mit einer eingravierten Nummer gestellt. Alljährlich wird nun die Lage jeder der vier, durch verschiedenen Farbenanstrich gekennzeichneten Steinreihen und jedes einzelnen der 156 größeren Blöcke sehr genau trigonometrisch bestimmt. In neuester Zeit wurde auch die Photogrammetrie mit Erfolg für diesen Zweck nutzbar gemacht.

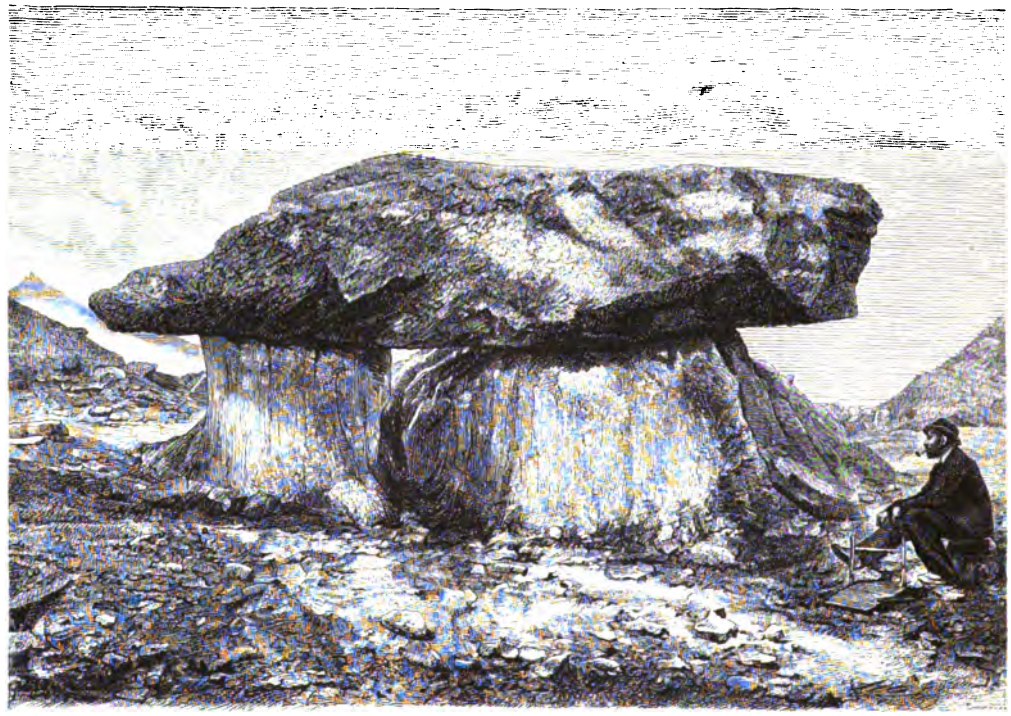
Derartige genauere Messungen ergeben die **größte Verschiedenheit der Bewegung**; die einzelnen Gletscher weichen sehr erheblich voneinander ab, und ein und derselbe Gletscher be-

Ein Gletscher in Norwegen. Vgl. Text, S. 545.

wegt sich an verschiedenen Stellen und zu verschiedenen Zeiten in sehr ungleichmäßiger Weise. Die Bewegung kann von wenigen Millimetern bis zu 300 m im Jahre steigen, und als Durchschnittswert kann man 40—100 m im Jahre, oder 0,1—0,3, ja selbst 0,4 m in 24 Stunden annehmen. Dies entspricht ungefähr der Geschwindigkeit, mit der sich die Spitze des Stundenzeigers unserer gewöhnlichen Taschenuhren fortbewegt. Bei einer solchen Geschwindigkeit braucht ein Eisteilchen vom Zusammenfluß der beiden Hauptäste des Unteraargletschers bis an das 8300 m weiter abwärts gelegene Ende etwa 130 Jahre. Stärkere Bewegungen scheinen die Himalaja-Gletscher aufzuweisen, und das Extrem finden wir in Grönland: wo sich an bergigen Küsten zwischen Höhen, die das Vorrücken hemmen, einzelne Thäler öffnen, wälzen sich die Gletscherzungen, mit unwiderstehlicher Macht geschoben, außerordentlich rasch dem Meere zu, so daß die Bewegung z. B. am Gletscher von Jacobshavn 14—20 m im Tage beträgt. Dies ist ungefähr die Geschwindigkeit einer kleinen Schnecke. In den Alpen kennt man nur ein Beispiel

einer ſo rapiden Bewegung, es betrifft den Vernagtgletſcher, der am 1. Juni 1845 einen Weg von 12 m zurücklegte, ſo daß das Fließen der Eismaſſe mit freiem Auge ſichtbar war.

Infolge der Reibung des Eiſes an dem harten Felsrand iſt die Bewegung in den verſchiedenen Teilen eines Gletſcherquerſchnittes ungleichmäßig: die Mitte rückt viel ſchneller vor als die Seitenteile. Deshalb bildet eine gerade, quer über den Gletſcher gelegte Reihe von Steinen oder Pfählen ſchon nach wenigen Jahren einen ſtark geſchwungenen, nach unten konvexen Bogen. Große Unterſchiede dieſer Art hat man bei Meſſungen am Rhônegletſcher beobachtet: in der oberſten Steinreihe bewegte ſich der auf der linken Seite 20 m vom Rande entfernte Block in 6 Jahren um 55, der in der Mitte des Gletſchers gelegene Block in derſelben



Ein Gletſchertiſch vom Rhônegletſcher. Vgl. Text, S. 545.

Zeit um 623 m vorwärts. Aus allen Beobachtungen geht hervor, daß die Bewegung vom Rande gegen die Mitte erſt raſch, dann immer langſamer zunimmt und auf dem mittleren Teil der Gletſcherbreite nur noch geringen Änderungen unterworfen iſt. Auf den Reibungswiderſtand des Gletſcherbettes iſt es offenbar auch zurückzuführen, daß ſich die Oberfläche des Gletſchers raſcher bewegt, als die unmittelbar auf dem Felsboden aufruhende Unterſeite.

Sehr ungleichartig iſt auch die Schnelligkeit der Bewegung in verſchiedenen Teilen des Längsprofils. Sie iſt am größten wenig unterhalb der Linie, wo der Gletſcher aus der breiten Firnmulde hervortritt; von hier nimmt ſie nach oben wie nach unten ab. Nur da, wo ſich weiter unten die Böſchung ſtark vergrößert, oder das Profil eingeengt wird, oder wo ein ſtarker Eiszufluß ſtattfindet, kann ſich dieſes Verhältnis ändern oder ſelbſt umkehren. Wo die Böſchung des Bettes abnimmt und dadurch eine vermehrte Stauung von hinten entſteht, oder wo der Gletſcher aus einer Thalenge in eine erweiterte Partie tritt, wird das Gletſchereis zu ſeitlichen Bewegungen veranlaßt. Es ſchmiegt ſich eben der Gletſcher wie ein Fluß der Form ſeines Bettes

an; wo sich dieses erweitert, breitet sich der Gletscher aus (s. Abbildung, S. 543), und dies kann natürlich nur geschehen, wenn die Eismassen fächerförmig nach den Seiten ausweichen. Natürlich ist damit auch eine Verringerung der Geschwindigkeit verbunden, während umgekehrt die Einengung des Profils eine Beschleunigung der Bewegung nach sich zieht.

Endlich haben auch die Jahreszeiten einen beträchtlichen Einfluß auf die Gletscherbewegung: vom Winter gegen den Sommer ist sie beschleunigt, vom Sommer gegen den Winter verzögert. Offenbar hängt dieses Verhalten damit zusammen, daß Wärme und Durchtränkung, d. h. die Zirkulation von Wasser in den Haarspalten, die Beweglichkeit erhöhen, während umgekehrt Frost und mangelhafte Durchtränkung den Gletscher steifer machen. Je mächtiger aber ein Gletscher ist, desto weniger vermag die Einwirkung der Jahreszeiten zur Geltung zu kommen.

Wie vielfach auch die Gletscherbewegung äußeren Einflüssen unterliegen mag, so erscheint sie doch immer als stetig, und sie vollzieht sich im allgemeinen unter denselben Gesetzen wie das Fließen des Wassers. Durch das stets nachschiebende Eis aus der Firnmulde gespeist, müßten sich die Gletscher in derselben Weise wie Flüsse bis zur Mündung in einen See oder in das Meer ununterbrochen weiter schieben, wenn nicht die fortdauernde Abschmelzung ihrer Ausdehnung Schranken setzte. Die Gletscher *reichen weit über die Schneegrenze in die Tiefe*, stellenweise bis dicht an die Region des Getreide- und Obstbaues, und da hier die mittlere Jahrestemperatur weit über dem Gefrierpunkt ist, so muß während der wärmeren Jahreszeit ein fortwährendes Abschmelzen stattfinden. Es wäre jedoch falsch, zu glauben, daß die Schmelzung ausschließlich oder ganz vorwiegend am unteren Ende stattfinde; sie erstreckt sich auf die ganze Längenausdehnung, und die Eismasse kommt infolgedessen schon in sehr reduziertem Zustand am unteren Ende an. Ferner erfolgt die Auflösung sowohl von oben als auch von unten, und selbst innere Schmelzung trägt zur Schrumpfung der Gletscher bei.

Die Auflösung von oben, die sogenannte *Ablation*, ist in erster Linie der unmittelbaren Bestrahlung durch die Sonne zuzuschreiben, ferner ist es der Regen, noch mehr aber die Temperatur der umgebenden Luft, die, außer im Winter, fast immer wärmer ist als der Gletscher und ihn energisch angreift; ganz besonders sind es aber die warmen Föhnstürme. „Der liebe Gott und die goldene Sonne vermögen nichts gegen den Schnee, wenn der Föhn nicht kommt", sagt ein Schweizer Sprichwort. An den Seitenteilen schmelzen die Gletscher durch den Reflex der erwärmten Uferfelswände mehr ab als in der Mitte, diese erscheint daher gewölbt, jene herabgedrückt und selbst durch Klüfte vom Ufergestein getrennt.

Um den Betrag der Ablation zu bestimmen, rammt man Pfähle in das Eis ein und mißt deren allmähliches Hervortreten, oder man beobachtet die Tiefenabnahme von Bohrlöchern, die man aber sorgfältig vor Wasserzufluß schützen muß. Man hat auf diese Weise gefunden, daß die Gletscherdecke im Sommer täglich durchschnittlich 3 cm, im Jahre 3—3,5 m verliert. Man kann ferner den Wert des oberflächlichen Verlustes auch dadurch bemessen, daß man einzelne Partien durch Bedecken mit schlechten Wärmeleitern vor dem Abschmelzen schützt, während die Umgebung der Einwirkung der Besonnung preisgegeben ist. Die geschützten Partien erheben sich dann um den Betrag der Ablation über die erniedrigte Umgebung.

Die Natur selbst hat der Forschung diesen Weg gewiesen: wo größere, flache Felsblöcke auf der Eisdecke liegen, absorbieren sie die Wärme und hindern die Sonne, den Regen und die warme Luft, an das Eis zu gelangen; während die umliegende Fläche abschmilzt, wird das Eis unter ihnen nur wenig angegriffen und bleibt daher als eine mächtige, oft 2—3, seltener 4, ja selbst 11 m hohe Eissäule unter der Platte, die mit jener zusammen die Form eines Tisches annimmt und daher *Gletschertisch* genannt wird (s. Abbildung, S. 544). Nach wenigen Monaten erhebt sich ein solcher Gletschertisch zu ansehnlicher Höhe, aber gleichzeitig beginnt auch von der Südseite

her sein Fuß seitlich wegzuschmelzen, bis die Platte das Übergewicht bekommt und von ihrem Sockel herabstürzt. Eine genau entgegengesetzte Wirkung üben kleine Körper, die auf dem Eise liegen: sie erwärmen sich stärker, geben bei ihrem geringen Volumen die Wärme sofort an die darunterliegende Eisschicht ab und bewirken ihre Schmelzung. Erd- und Sandteile, Halme, Blätter, Insekten liegen daher im Grunde von 1—2 cm tiefen Löchern, die an ihrem oberen Rande den Umriß des auf ihrem Grunde liegenden Gegenstandes wunderbar genau wiedergeben. Mit dem fortwährenden Abschmelzen des Gletschers an seiner Oberfläche hängt es zusammen, daß er, wie die Bergbewohner sagen, nichts Fremdes in sich duldet und alle Unreinigkeiten ausstößt. In der That ist der Gegensatz groß genug zwischen der Reinheit, die die Masse des Gletschereises zeigt, und der Menge von Trümmern und Schutt, die seine Oberfläche bedecken. Man weiß durch Beobachtung und Versuche, daß Gegenstände, die in Spalten gefallen sind, oder die man in Löcher versenkt hat, nach einiger Zeit an einer tieferen Stelle wieder zum Vorschein kommen, und man dachte früher, daß das Eis wirklich eine ausstoßende Kraft besitze und fremde Körper herauspresse; aber die genannten Erscheinungen erklären sich einfach aus dem Abschmelzen der oberen Eisschichten.

Das Wasser, das sich durch das Schmelzen des Eises auf der ganzen Oberflächenerstreckung des Gletschers bildet, versickert teilweise in den zahllosen feinen Haarspalten, die sein ganzes Gefüge durchziehen, ein anderer Teil läuft in kleinen Bächen auf dem Rücken des Gletschers ab und verliert sich in zahllosen Klüften, ohne bis an das Ende des Gletschers zu gelangen. Trifft das Schmelzwasser auf eine größere Spalte, so bringt es in jähem Sturz hinein und erweitert sie zu einem tiefen Schlund. Schließt sich aber nachträglich die Spalte, so hält doch der Bach durch Ausschmelzen den vertikalen Schacht offen, der nun eine sogenannte Gletschermühle bildet. Diese Eisschächte bewegen sich mit dem Gletscher thalwärts, wenn sie aber nach einiger Zeit durch die Entstehung neuer solcher Schlünde „außer Dienst gestellt" werden, so werden sie durch die fließende Bewegung des Gletschers allmählich zusammengedrückt und verschwinden endlich. Man hat das häufige Auftreten der früher besprochenen Riesentöpfe in ehemals vergletschertem Terrain mit solchen Gletschermühlen in Verbindung gebracht, indem man dem in diese herabstürzenden Bache die Erzeugung der Strudelbewegung zuschrieb, die wir als unerläßliche Bedingung für die Entstehung solcher Kessel kennen gelernt haben. Baltzer hat jedoch dagegen hervorgehoben, daß die versinkenden Wassermassen infolge der Bewegung der Gletschermühlen nach abwärts nicht lange genug eine und dieselbe Stelle des Bodens treffen, als daß sie eine derartige Wirkung hervorbringen könnten; anders verhält es sich aber vielleicht mit den alten Riesenkesseln aus der Diluvialzeit, die sich nicht allzu selten in der norddeutschen Ebene finden, weit von jeder Terraingestaltung, der die Bildung einer energischen Strudelbewegung zugeschrieben werden könnte. Da die gewaltigen, ungefähr horizontal liegenden Eismassen, die Norddeutschland damals bedeckten, sich jedenfalls nur überaus langsam bewegten, so konnten sich die Mühlen eher an einem Punkte halten und die Aushöhlung der Kessel bewirken.

Alles Schmelzwasser sammelt sich auf dem Boden des Gletschers und fließt, seiner natürlichen Neigung folgend, in einem oder mehreren Gletscherbächen ab. Damit vereinigen sich die Bachwasser der Thalgehänge, die von allen Seiten unter den Gletscher eindringen und daselbst in einem sehr verzweigten System von Höhlungen und Gängen abwärts fließen. Diese Hohlräume sind bisweilen so ausgedehnt, daß manche Gletscher auf einem großen Teil ihrer Erstreckung den Boden nicht berühren, sondern, von einzelnen gewaltigen Pfeilern, „Füßen", getragen, in mächtigen Gewölben den Boden überspannen. Schlagintweit drang in einer solchen Höhle mehr als 200 m weit unter dem Marcellgletscher vor; in einem Falle wurde durch einen merkwürdigen Zufall sogar eine die ganze Länge eines mächtigen Gletschers durchziehende Höhlung nachgewiesen.

Das Gletschertor am Rhonegletscher.

Nach der Natur von E. Heyn.

Vor Jahren stürzte ein Mann aus Grindelwald in eine Spalte des Grindelwaldgletschers; er glitt etwa 120 m weit in die Tiefe und gelangte zwar mit gebrochenem Arm, aber lebend und bei Bewußtsein auf den Boden des Gletschers. Er suchte aus seinem frostigen Kerker zu entrinnen; thalabwärts erwies sich das als unmöglich, als er aber der Höhle des Gletscherbaches thalaufwärts folgte, führte sie ihn endlich hoch oben am Fuße des Wetterhorns wieder ans Tageslicht.

Wo der Gletscherbach ins Freie tritt, bildet sich häufig ein mächtiges Gewölbe von mehreren Metern Höhe, das **Gletscherthor**. Diese Thore und die sich anschließenden Eisgrotten gehören zu den gerühmtesten Schönheiten der Gletscherwelt, deren spiegelnde Wölbung ein herrliches

Gletscherspalten. (Nach Photographie.) Vgl. Text, S. 548.

Farbenspiel von blauem und rötlichem Lichte zeigt. Die beigeheftete Tafel „Das Gletscherthor am Rhônegletscher" gibt ein treffliches Beispiel. Leider hat der gewaltige Rückgang der Gletscher in den letzten Dezennien gerade einige der wunderbarsten Eispaläste zerstört.

Hauptsächlich durch das Gletscherthor, aber auch durch andere Spalten und Wetterlöcher gelangen warme Luftströmungen in das Innere und unter den Gletscher und vermitteln in Verbindung mit dem Bachwasser der Thalgehänge die Auflösung des Gletschers von unten her. Die Wassermenge des Gletscherbaches, das Ergebnis der gesamten Schmelzungsvorgänge, wechselt sehr stark mit den Tages- und Jahreszeiten; namentlich an heißen Sommernachmittagen rauschen mächtige Ströme trüben, milchigen oder grauen Wassers hervor, während der Abfluß des Morgens weit schwächer ist und im Winter natürlich die Schmelzung gar keinen Zuschuß liefert. Wenn trotzdem aus der Stirn vieler Gletscher auch bei kaltem Wetter Bäche hervortreten, die dann klar und kristallhell sind, so rühren deren Wasser lediglich von Quellen her, die unter dem Gletscher dem Boden entspringen.

Infolge des Fließens der Gletschermasse und der Unebenheiten und Ungleichmäßigkeiten des Bettes entstehen im Gletschereis innere Spannungen, und diese finden in den schon mehrfach erwähnten Spalten (s. Abbildung, S. 547) ihre Auslösung. Ein dumpfkrachendes oder klingendes Getöse begleitet im Beginn die Spaltenbildung, man sieht einen einfachen Riß im Eise, der sich bald schnell, bald langsam fortsetzt und zu klaffen anfängt. Breite und Tiefe dieser tückischen Spalten, die bei Mangel an Vorsicht und Erfahrung zu einer ernsten Gefahr der Gletscherwanderung werden, können bedeutende Dimensionen annehmen; es ist vorgekommen, daß man mit Senkleinen von mehr als 200 m Länge den Grund nicht erreichen konnte. Wo der Gletscher einen Felsvorsprung zu passieren hat, da treten rings um diesen herum Berstungen ein, Randspalten, die sich meist strahlenförmig um den hemmenden Pfeiler stellen; Längsklüfte, der Achse des Gletschers mehr oder weniger parallel, bilden sich hauptsächlich da, wo sich die Eismasse, aus engerem Bett in eine Weitung vortretend, plötzlich ausbreitet. Die Querspalten endlich, die wichtigsten und verbreitetsten von allen, verdanken ihre Entstehung Unebenheiten des Thalbodens; wo dieser eine stärkere Neigung annimmt, da bewegt sich das Eis auf der abschüssigen Unterlage schneller und wird infolgedessen von dem weiter oben gelegenen, noch langsam vorrückenden Eise durch eine Spalte getrennt. Je stärker der Unterschied in der Neigung ist, und je rascher er eintritt, um so mehr häufen sich die Zerreißungen, und an Stellen, die ein Bach etwa in einem Wasserfall übersetzen würde, an höheren Thalstufen, bilden sich die sogenannten Gletscherbrüche aus einer Häufung zahlreicher gewaltiger Querspalten: durch zahlreiche Klüfte zerteilt, steht das Eis in Scheiben, Türmen, Pyramiden, Mauerzinnen da, dazwischen Blöcke und Trümmer gestürzt, das Ganze ein gigantisches Chaos, ein Labyrinth wildphantastisch geformter und durcheinander geworfener Eismassen, von dem keine Vorstellungsgabe sich einen Begriff zu machen im stande ist.

Man sollte erwarten, daß thalabwärts vom Gletscherbruch auf der ganzen Strecke bis zu seinem Ende der Eisstrom nur noch ein wildes Haufwerk von Blöcken, Trümmern und Schollen sein müßte, die sich regellos übereinander schieben. Allein das ist nicht der Fall; die zertrümmerten Eismassen vereinigen sich unterhalb des Absturzes wieder zu einem normalen Gletscher, sie verwachsen wieder zu einer homogenen Eismasse, die wenige hundert Meter unterhalb des Bruches keine Spur mehr von den gewaltigen Störungen zeigt, die sie erlitten hat. Ja, dies geht so weit, daß bei kleineren Gletschern, die an hohen Steilwänden ihre Massen nicht in einem Bruch hinabwälzen, sondern von Zeit zu Zeit die über den Rand des Absturzes hervorgeschobenen Eismassen krachend in die Tiefe stürzen lassen, daß selbst in diesen Fällen am Fuße der Felswand das Material der Eislawinen wieder zu einem regenerierten Gletscher zusammenwächst.

Wir haben damit eine der wichtigsten und merkwürdigsten Eigentümlichkeiten des Gletschereises kennen gelernt, das Zusammenwachsen getrennter Teile durch Wiedergefrieren, eine Erscheinung, die sich nur dem Grade nach verschieden auch darin zeigt, daß sich jede Gletscherspalte schließt und ihre Ränder verwachsen, sobald die Ursache ihrer Entstehung nicht mehr wirkt. Dieses Phänomen gibt uns den Schlüssel für eine wenigstens bis zu einem gewissen Grade befriedigende Deutung der Gletschererscheinungen überhaupt an die Hand, denn von einem wirklichen Verständnis aller Vorgänge sind wir leider noch weit entfernt.

Ursprünglich nahm man an, daß Wasser in die Spalten und Haarrisse des Eises eindringe, hier gefriere und durch seine Ausdehnung eine Auseinanderschiebung und dadurch die Bewegung verursache. Diese „Dilatationstheorie" konnte sich jedoch nicht halten, weil durch einen derartigen Vorgang nicht ein einfaches Vorrücken der Massen, sondern höchstens ein allseitiges Aufquellen hervorgebracht werden könnte. Man hat daher eine andere Erklärung gesucht, die lediglich in der Schwere der Massen die Ursache ihrer Bewegung sieht. Im allgemeinen trifft dies auch zu,

denn wir haben ja gesehen, daß die Bewegung der Gletscher so erfolgt wie das Fließen eines Stromes in seinem Bett; aber gewisse Eigentümlichkeiten, wie namentlich die Regeneration der Gletscher unterhalb der Brüche, werden dadurch allein nicht aufgehellt.

Die Erklärung liegt in der körnigen Struktur des Gletschereises und in den Erscheinungen der „Regelation", des Wiedergefrierens des Eises, wie sie von Helmholtz, Thomson und Tyndall dargelegt wurde. Das Eis dehnt sich beim Gefrieren aus, und dem entsprechend wird sein Gefrierpunkt durch hohen Druck erniedrigt; er liegt dann nicht mehr bei 0°, sondern bei einer tieferen Temperatur. Wenn man also Eis von 0° einem Druck unterwirft, so ist seine Temperatur nun über dem Gefrierpunkt, d. h. es schmilzt, und da durch das Schmelzen Wärme gebunden wird, so sinkt die Temperatur des dabei erzeugten Schmelzwassers unter 0°. Die Folge davon ist, daß das Wasser wieder gefriert, sobald der Druck aufhört, daß also die Regelation eintritt. Die praktische Anwendung dieses physikalischen Satzes findet in ausgedehnter Weise beim Anfertigen von Schneebällen statt, das bekanntlich bei beginnendem Tauwetter am besten gelingt und um diese Zeit von der spielenden Jugend am eifrigsten betrieben wird; der Schnee hat dann die Temperatur von 0° und bietet die günstigsten Bedingungen für die Anstellung des Experiments. Der Druck der Hand beim Ballen des Schnees bewirkt Schmelzung, und wenn man zu drücken aufhört, tritt Regelation ein, d. h. der Schnee ballt sich gut.

In dem Eis des Gletschers herrscht je nach der Neigung und der Masse an verschiedenen Stellen verschiedener Druck, und wo dieser verhältnismäßig stark ist, tritt Schmelzung ein; aber das unter 0° abgekühlte Wasser bleibt nicht an den gedrückten Stellen, es entweicht durch die feinen Haarrisse nach weniger gepreßten Stellen, wo es wieder gefriert. So befindet sich das Eis in einem fortwährenden Zustande der inneren Zerbröckelung und des Wiederzusammengefrierens, der seine Beweglichkeit erhöht. Ganz besonders aber wird diese Beweglichkeit, wie A. Heim gezeigt hat, durch die körnige Struktur begünstigt. Das Gletschereis, so gleichmäßig es auch dem freien Auge erscheinen mag, besteht doch in Wirklichkeit aus einem Konglomerat von Eisbrocken, zwischen denen sich die schon erwähnten Haarspalten befinden. Die durch die Schwere hervorgerufene Bewegung des Gletschers erzwingt ein inneres Brechen des Eises; natürlich werden hierbei die vorhandenen Trennungsflächen von Korn zu Korn als Flächen geringsten Zusammenhalts benutzt. Während so die körnige Struktur die Bewegung unterstützt, wird sie anderseits durch die Bewegung stets aufrecht erhalten. Die Regelation aber sorgt dafür, daß die einzelnen Körner nicht auseinanderfallen, sondern immer wieder zusammengeschweißt werden. Diese Wechselwirkung von Regelation und körniger Struktur, die „Plastizität auf Druck", machen die wichtigsten Erscheinungen der Gletscher, deren Beweglichkeit und Regenerierung, vollkommen verständlich; manche Einzelvorgänge dagegen sind noch nicht aufgeklärt und erfordern weitere Beobachtungen.

Die Untersuchungen über Gletscherbewegung und Abschmelzung haben ergeben, daß das Nachrücken des Eises in manchen Jahren von der Abschmelzung gerade aufgehoben wird, so daß dann das untere Ende der Gletscher stationär bleibt. In auffallenden Gegensatz dazu stellen sich periodisch wiederkehrende Jahrgänge, in denen ein stetes Anwachsen oder Zurückweichen der Gletscher beobachtet wird. Durch eine Reihe von Jahren sehen wir einen Gletscher um 15—20, ja selbst um 60—70 m jährlich vordringen, er schiebt seine Moränen vor sich her, greift hochstämmigen, alten Wald an, zertrümmert menschliche Wohnungen und überzieht Alpenweiden mit seinem Eispanzer. Dann kommt wieder eine Periode, wo das Ende mehr abschmilzt als es nachrückt, so daß der Betrag des Rückzugs schließlich 1000, 1500, ja selbst 2000 m erreicht, und es den Anschein gewinnt, als sollte er gänzlich aufgezehrt werden, bis nach einigen Jahren abermals ein neuer Vorstoß beginnt.

Eins der auffallendſten Beiſpiele dieſer Art iſt der Vernagtgletſcher in den Ötzthaler Alpen. Er beſitzt zwei getrennte Firnfelder, den Hochvernagt- und Guslar-Ferner, deren Abflüſſe ſich in einer Höhe von ungefähr 2700 m vereinigen. Die letzte Vorſtoßperiode war in den Jahren 1840—1848; damals war die von dem Geſamtgletſcher bedeckte Fläche um 158 Hektar größer als im Jahr 1883, und das Gletſcherende von 1883 war um 2092 m von dem von 1845 entfernt. Bei jedem neuerlichen Vordringen erfüllt der Gletſcher das 2 km lange, jetzt eisfreie Thalſtück, und da er damit die Mündung des querſtehenden Rofenthales erreicht, ſo wird der Rofenbach hierdurch abgedämmt und zu einem See aufgeſtaut. Dieſer entleert ſich nun jedesmal in wiederholten Durchbrüchen unter und neben dem Gletſcher, gewaltige Hochwaſſer brauſen durch das ganze Ötzthal hinab und richten furchtbare Verwüſtungen an, und gerade dieſem Umſtand verdanken wir allein die Nachrichten über ehemalige Vorſtöße in früherer Zeit.[1] Wir haben dadurch erfahren, daß in den Jahren 1599—1601, 1676 bis 1681, 1770—1772, 1820—1822, 1840—1848 gewaltige Vorſtöße des Vernagtgletſchers eingetreten ſind.

Karte des Oberſulzbachgletſchers und ſeiner Firnmulde. (Nach E. Richter.)

Nur wenig geringer als am Vernagt- ſind die Schwankungen des Oberſulzbachgletſchers. Über die ältere Geſchichte dieſes vom Venediger gegen das obere Pinzgau herabziehenden Ferners haben wir leider keine Nachrichten, wir können nur aus dem Umſtand, daß am Rande der letzten Vergletſcherung uralte Zirbelkiefern ſtehen, den Schluß ziehen, daß ſeit Jahrhunderten ein ſtärkerer Vorſtoß als der letzte nicht ſtattgefunden hat. Ungefähr ſeit 1850 iſt der Oberſulzbachgletſcher ununterbrochen im Rückzuge begriffen; er iſt ſeither bis 1882 um volle 400 m zurückgegangen, ein Betrag, deſſen Verhältnis zur Fläche des geſamten Gletſchers die obenſtehende Skizze zeigt. Im Jahre 1885 war das Gletſcherthor an der Spitze des Ferners gegen den Stand von 1882 um 20 m zurückgegangen, das linke Gletſcherthor aber um 90 m, die rechte Seite um 240 m; im Jahre 1887 war die Spitze faſt verſchwunden; in zwei Sommern iſt alſo ein 230 m langer und 75 m breiter Eiskörper gänzlich geſchmolzen. Die Geſamtverminderung bis 1887 kann auf 70 Millionen Kubikmeter geſchätzt werden; die „ausgeaperte" (eisfrei gewordene) Fläche betrug 60,25 Hektar.

Für die Beurteilung dieſer merkwürdigen Erſcheinungen iſt die Thatſache von großer Wichtigkeit, daß dieſe Schwankungen keineswegs vereinzelt auftreten, ſondern daß ſich alle Alpengletſcher ungefähr gleichzeitig in demſelben Sinne verändern. So iſt z. B. der Rückgang ſeit

[1] Die Vermurungen, die mit Ausbrüchen von Gletſcherſeen verbunden ſind, haben wir bereits früher, S. 472, kennen gelernt.

1856 ganz allgemein, und wenn sich einzelne Gletscher untereinander abweichend verhalten, so sind die Unterschiede nur gradueller Natur und gehen auf lokale Verhältnisse, stärkeres Gefälle, ausgiebigere Bedeckung mit Moränenschutt ꝛc. zurück. Übrigens sind manche dieser Abweichungen auch nur scheinbar. Wenn man z. B. hört, daß der Aargletscher in der Zeit, wo der nahegelegene Rhônegletscher 900 m an Länge verloren hat, nur um 40 m zurückgegangen ist, so klingt das sehr rätselhaft, es erklärt sich aber dadurch, daß sich der Rhônegletscher am unteren Ende sehr flach ausbreitet und sehr dünn wird, während der Aargletscher in bedeutender Dicke an der Stirn austritt, so daß durch gleiche Abschmelzung an ihm natürlich ein sehr viel kleineres Areal eisfrei wird als beim Rhônegletscher; an Mächtigkeit hat auch der Aargletscher sehr stark verloren.

Wenn wir nun die Ursachen dieser periodischen Schwankungen ins Auge fassen, so können wir bei der Allgemeinheit und Gleichzeitigkeit dieser Erscheinungen wohl nur an Einflüsse klimatischer Natur denken. Jede Vermehrung der Niederschläge und Herabsetzung der mittleren Jahrestemperatur hat eine stärkere Ernährung der Gletscher und eine Verminderung der Abschmelzung zur Folge, es muß sich also jede Verschlechterung des Klimas, wenn sie nur einige Jahre anhält, in einem allgemeinen Vorstoß der Gletscher äußern, während umgekehrt jede Verbesserung des Klimas von einer Rückzugsperiode begleitet sein wird. Natürlich kann die Wirkung nicht unmittelbar sein, sondern die Verschiebung tritt immer einige Zeit später ein als der Beginn der Witterungsverhältnisse, durch die sie bedingt ist. Bei den beiden Vorstoßperioden dieses Jahrhunderts konnte die Prüfung auf die Richtigkeit dieser Voraussetzungen vorgenommen werden, da uns aus dieser Zeit hinlänglich Material zur Beurteilung der klimatischen Verhältnisse und des Gletscherstandes vorliegt. Hierbei hat es sich nun ergeben, daß der Vorstoßperiode von 1820 eine Reihe kühler und feuchter Jahre vorausgegangen ist; von 1818—1835 folgten warme und trockene Jahre, die Gletscher gingen zurück. Die Zeit von 1835—1855 war regnerisch, aber nur zum Teil auch kalt, und dem entspricht auch das Verhalten der Gletscher: im Jahre 1840 begann ein allgemeines Vorrücken der Alpengletscher, die Steigerung vollzog sich aber sehr langsam, und ebenso war der Rückzug in der ersten Zeit träge. Erst vom Jahre 1860 an ist der rasche Rückgang der Gletscher durchaus vorherrschend. Die Wechselbeziehungen zwischen Klima- und Gletscherschwankungen sind also sehr innig, und es kann keinem Zweifel unterliegen, daß diese durch jene bedingt werden.

Erst kürzlich hat E. Brückner zu zeigen gesucht, daß sich die klimatischen Veränderungen seit 1700 in ungefähr 35jährigen Perioden abspielen. Reichliche Nachrichten über die Gletscherschwankungen der vergangenen Jahrhunderte müßten bei der deutlichen Abhängigkeit dieser Erscheinungen von den klimatischen Faktoren ein vorzügliches Mittel sein, die Richtigkeit der 35jährigen Periode zu prüfen. Und man hat in der That gefunden, daß diese Gletscherschwankungen im allgemeinen mit den Jahreszahlen der Klimaänderungen der letzten drei Jahrhunderte übereinstimmen, doch soll bisweilen ein Rückgang oder ein Vorstoß nur so schwach angedeutet sein, daß er gegenüber den benachbarten Perioden übersehen wird.

Viel zahlreicher als die gut beglaubigten Nachrichten über die Gletscherverbreitung der vergangenen Jahrhunderte sind in allen Teilen der Hochalpen Berichte über ungangbar gewordene Pässe, über Wälder und Weideland, die jetzt von Eis bedeckt sind, und überhaupt verschiedene Überlieferungen, die auf ein Überhandnehmen der Vergletscherung seit dem Mittelalter hindeuten. Obwohl viele von diesen Nachrichten bedenklich an die in den Alpen so verbreiteten Sagen von der übergossenen Alm ꝛc. erinnern, hat man sich doch bisher gescheut, sie rundweg in das Gebiet der Fabeln zu verweisen. Man ist durch eingehende Prüfung zu der Überzeugung gelangt, daß sich manche dieser Verschlechterungen auch durch Veränderungen im bekannten Maße erklären lassen, die übrigen aber nicht genügend beglaubigt sind. Zum mindesten bieten sie keinen genügenden

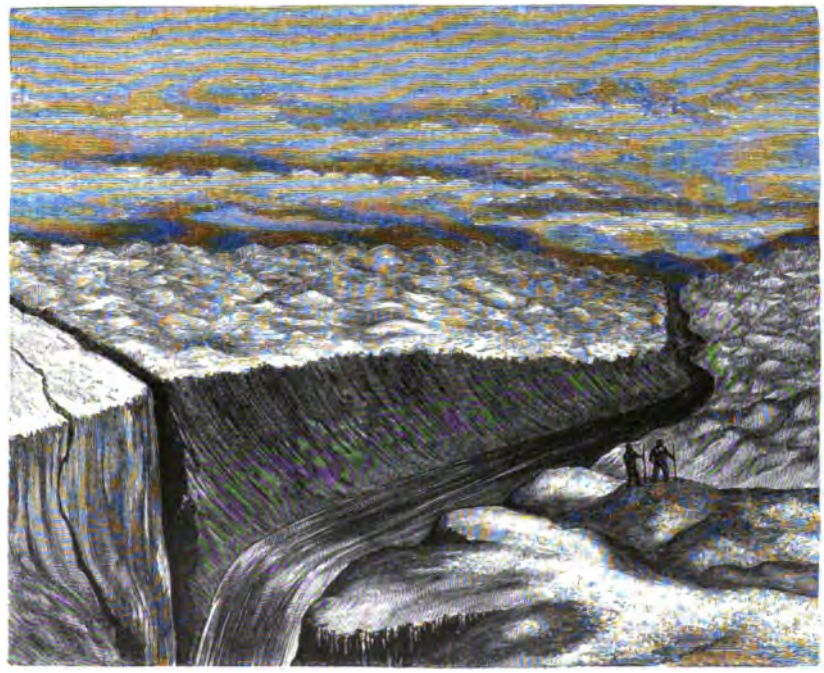
Anhalt, etwa die Möglichkeit klimatiſcher Schwankungen von längerer, mehrhundertjähriger Periode darauf zu ſtützen.

Wir haben uns bisher nur mit den Gletſchern der Alpen befaßt. Dieſelben Erſcheinungen treten in größerem oder kleinerem Maßſtabe in zahlreichen anderen Hochgebirgen auf; in Europa haben noch die Pyrenäen beſchränkte Gletſcher aufzuweiſen, und in mächtiger Entwickelung finden ſich ſolche in Norwegen, dagegen fehlen ſie den Karpathen und allen Gebirgen Südoſteuropas; dies iſt keine ſehr auffallende Erſcheinung, da ſich jene Gebirge nicht über 3000 m erheben. In Aſien tragen Kaukaſus, Himalaja, Karakorum, Kuenlün, Tiënſchan und andere Gebirge bedeutende Gletſcher; namentlich diejenigen des Karakorum verdienen wegen ihrer mächtigen Entwickelung hervorgehoben zu werden. Dagegen ſind in dem rieſigen Altai trotz ſeiner Lage unter dem 50. Breitengrad und des kalten Klimas, wohl infolge der geringen Niederſchlagsmenge, keine Gletſcher vorhanden. In Nordamerika iſt die Eisentwickelung gering und, abgeſehen von der Polarregion, auf das Kaskadengebirge im Weſten beſchränkt. Auffallend ſchwach iſt wegen der großen Trockenheit die Gletſcherentwickelung in den gewaltigen Hochregionen der ſüdamerikaniſchen Anden; erſt im äußerſten Süden des Kontinents, wo die Berge keine ſehr beträchtliche Höhe mehr erreichen, aber die Regen- und Schneefälle ſehr reichlich ſind, finden wir überaus entwickelte Gletſcher, die ſich an den Gebirgen und auf den Inſeln der Weſtküſte außerordentlich weit herab erſtrecken und ſich in einer Gegend, die nicht weiter als Berlin vom Äquator entfernt iſt, bis ins Meer hinabſchieben. Zwiſchen den üppigen, immergrünen Wäldern des Feuerlandes ſteigen die Eisſtröme, von dem übermäßig naſſen Klima begünſtigt, bis in die Fluten hinunter, in denen ſich noch manche Muſchelformen von entſchieden tropiſchem Typus aufhalten. Ähnliche Verhältniſſe finden wir auch auf der Südinſel von Neuſeeland; nicht weiter als die lombardiſche Ebene vom Äquator entfernt und in einer Region, deren mittlere Jahrestemperatur diejenige von Wien überſteigt, ſenken ſich die Gletſcher zwiſchen ſubtropiſche Wälder herab, in denen die Baumfarne ihre zarten Wedel ausbreiten. Die Inſeln öſtlich vom Feuerland, die Falklandinſeln, Südgeorgia, ſind, obwohl nur wenig vom 50. Breitengrad entfernt, doch total vergletſchert.

Auch in den polaren Gegenden treffen wir auf Gletſcher von alpinem Typus; größere Verbreitung aber beſitzt die merkwürdige Form des Glazialphänomens, die wir im Vorhergehenden als den grönländiſchen Typus der Vergletſcherung bezeichnet haben und die in der Ausbildung eines gewaltigen, rieſige Landſtrecken gleichmäßig überziehenden Binnen- oder Inlandeiſes gipfelt. Für das Verſtändnis der Diluvialformation iſt die Kenntnis des Inlandeiſes von großer Bedeutung, und wir müſſen daher auf dieſen Gegenſtand etwas näher eingehen. Zu den hauptſächlichſten Stätten des Inlandeiſes gehört das ganze Land um den Südpol, ferner Grönland, Spitzbergen, Nowaja Semlja und Franz Joſeph-Land, dagegen enthalten ausgedehnte Landſtrecken im polaren Nordamerika und das nordaſiatiſche Tundrengebiet keine echten Gletſcher.

Am beſten ſind beſonders durch die ſkandinaviſchen und däniſchen Polarexpeditionen die Verhältniſſe in Grönland bekannt geworden. Von einer Küſte zur anderen erſtreckt ſich das Inlandeis als ein flach gewölbter Schild, der eine Fläche von mehr als 30,000 Quadratmeilen überſpannt und alle Unebenheiten des Bodens unter einer wohl an 1700—2000 m mächtigen Eisdecke verhüllt. Längere Zeit war man im Zweifel, ob der Untergrund nicht vielleicht doch im Inneren des Landes aus dem Eis hervorrage, aber ſeit den denkwürdigen Fahrten von F. Nanſen und R. Peary, die das ganze Land, Nanſen im Süden, Peary im Norden, durchquert haben, ſteht es feſt, daß dort nichts als Eis und Schnee vorhanden iſt. Im ſüdlichen Teil des Landes erhebt ſich der höchſte Punkt 2718 m über das Meer, er liegt vom Eisrand im Oſten 180 km, im Weſten 270 km entfernt. Wenn man das Inlandeis von der eisfreien, fjordzerſtückelten

Küste aus untersucht, so trifft man, wo das Eis nicht an höheres Küstenland angrenzt, nach Überschreitung des schmalen, eisfreien Küstensaumes zuerst auf eine mehr oder weniger zerklüftete, steile Eiswand. Daran schließt sich eine unebene, teilweise noch von der Gestaltung des Untergrundes abhängige Eisfläche, die noch ziemlich steil ansteigt und von vielen Spalten durchzogen ist. In dieser Randzone des Inlandeises erheben sich an manchen Stellen steile, von den Eskimos Nunataks genannte Klippen, die einzigen sichtbaren Partien des unter dem Eispanzer begrabenen Landes. Sie bilden gleichsam „Wellenbrecher" gegen das von innen vordringende Eis, das auf ihrer Innenseite bisweilen hoch auf die Felswände geschoben ist. Nur bei schneller Bewegung dacht sich die Oberfläche des Eises gegen den Nunatak ab.

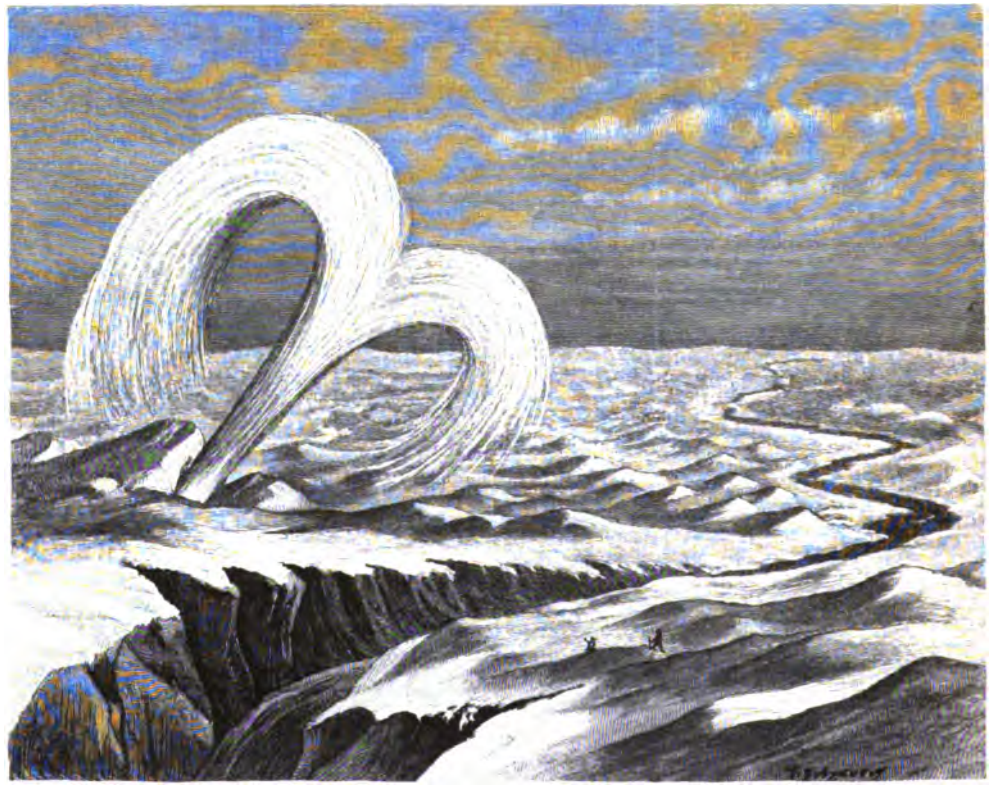


Grönländisches Inlandeis. (Nach Nordenskiöld.)

Jenseits der Nunataks nimmt die Steigung ab, das Eis ist weniger zerklüftet und hat eine wellige Oberfläche mit einzelnen großen flachen Mulden. In diesen sammelt sich im Sommer das Schmelzwasser, das da und dort in rauschenden Bächen abfließt, bis es in riesigen Gletschermühlen und grundlosen Spalten versinkt (s. obenstehende Abbildung). Nordenskiöld hat gelegentlich beobachtet, daß es an anderer Stelle als kräftiger mit Luft gemengter und intermittierender Wasserstrahl wieder ausgestoßen werden kann (s. Abbildung, S. 554). Die oft parallel angeordneten Spalten sind wegen ihrer Tiefe ein wahrer Schrecken für den Reisenden; oben von azurblauem Eis begrenzt, verlieren sich ihre Wände in schauriger Dunkelheit.

Wenn man über diese Randzone hinaus ins Innere vordringt, verschwinden die Nunataks und mit diesen die Spalten, man kommt in das weite Sammelgebiet des Inlandeises, wo die Oberfläche kluftfrei und auch im Sommer stets mit Schnee bedeckt ist. Der Schnee, der sich hier anhäuft, wird durch seinen eignen Druck in Eis verwandelt, und durch ebendiesen Druck, den man bei der gewaltigen Mächtigkeit des Schnee- und Eismantels auf weit über 100 Atmosphären schätzen muß, werden die unteren Eislagen nach den Seiten hinausgedrängt.

Trotzdem die Eismaſſen des Inneren mit gewaltiger Kraft nach der Küſte drängen, iſt die Eisbewegung eine ſehr langſame, ſo daß der Eiswall nicht einmal völlig das Meer erreichen kann, bevor der vorderſte Teil abgeſchmolzen iſt. So kommt es, daß ſich der ſchmale Küſtenſaum eisfrei erhalten kann, obwohl die Speiſung des Inlandeiſes aus dem rieſigen Sammelgebiet im Inneren des Landes eine überreiche iſt. Zwar berührt der Rand des Eiſes an vielen Stellen das Meer, ohne aber ein weiteres Vordringen dahin zu zeigen, und man kann im allgemeinen doch von einem eisfreien Küſtenſaum ſprechen, der im mittleren Teil der Weſtküſte ſogar eine recht anſehnliche Breite gewinnt.



Intermittierender Springbrunnen auf dem grönländiſchen Inlandeis. (Nach Nordenſkiöld.)
Vgl. Text, S. 553.

Anders aber verhält es ſich, wie ſchon oben erwähnt, wenn ein bergiger Uferrand das Vordringen des Eiſes hindert und dieſes nur durch einzelne verhältnismäßig ſchmale Öffnungen hervordringen kann. An ſolchen Stellen erreicht das Eis die größte Schnelligkeit, die überhaupt bis jetzt beobachtet worden iſt, bis zu 20 m in einem Tage, es entſtehen Gletſcherbrüche der gewaltſamſten und größten Art, „reißende Eisfälle, wobei die mächtige Eisdecke, zerſplittert und zerbrochen, mit verhältnismäßig heftiger Fahrt einen wenig breiten, ſteilen Thalweg hinuntergepreßt wird, wo die Eisblöcke mit mächtigem Getöſe einer über den anderen dahinſtürzen, und von wo Eisberge von rieſigen Dimenſionen zu Hunderten und Tauſenden hinuntergeſchoben werden“ (Nordenſkiöld). Wie die Berge des Küſtenſaumes die Eisfjorde umſchließen, ſo umſäumen weiter nach innen Nunataks die Fortſetzung der Fjordgletſcher; jeder von ihnen hat ſeinen eignen, dem Flußgebiet entſprechenden Anteil an dem Eis im Inneren des Landes und bewegt ſich mit einer Geſchwindigkeit, die von der Größe, Neigung und Geſtaltung dieſes ſeines Spezial-

gebietes abhängig ist. So viel man weiß, werden nur etwa 25—30 Gletscher so weit vorgeschoben, daß sie beim Eintritt ins Meer zerbrechen und „kalben", d. h. Eisberge abgeben, ein Vorgang, auf den wir hier nicht eingehen, da wir weiter unten darauf zurückkommen müssen.

Das Schmelzwasser des Inlandeises sammelt sich, ganz wie bei den alpinen Gletschern, auf dem Grunde des Eises und dringt durch große Gletscherthore nach außen. Zeigen sich schon die alpinen Gletscherbäche milchig getrübt, so ist dies in noch viel höherem Grade bei den grönländischen Gletscherflüssen der Fall; sie führen große Mengen von Schlamm und Geschieben zur Küste und zeigen dadurch an, wie bedeutend die Reibung und Zermalmung ist, die das Binneneis auf den Untergrund ausübt. In einer anderen Hinsicht aber tritt der Unterschied zwischen den grönländischen und den alpinen Gletschern sehr deutlich hervor: die alpinen sind, wie wir dies gleich näher besprechen werden, auf ihrer Oberfläche mit Trümmern und Gesteinsblöcken reich beladen, während die grönländischen eine solche Blockbestreuung fast gänzlich vermissen lassen. Nur in der Randzone, besonders in der Nähe der Nunataks, kommen kleinere Schuttanhäufungen auf der Oberfläche vor.

Erosion und Transport durch Gletscher.

Wir haben bis jetzt nur das Gletschereis und seine Bewegungen für sich betrachtet, nicht aber die Wirkung, die ihm bei der Zerstörung der Gesteine und dem Transport von Materialien zukommt. Es ist bekannt, daß die Gletscher eine Menge von Gesteinstrümmern von den größten Blöcken bis zum feinsten Thon transportieren; wer einen wohlausgebildeten Gletscher betreten und mit offenen Augen die Erscheinungen verfolgt hat, der kennt die Moränen, die Schuttanhäufungen, die er mit sich führt und an seinem Ende anhäuft. Insbesondere fallen die Oberflächenmoränen ins Auge, die Steinwälle, die auf der Oberseite des Eises liegen.

Über die Herkunft dieser Materialien kann kein Zweifel sein: es sind Gesteinstrümmer, die von überragenden Steilwänden und Abhängen auf die Firnmulde herabfallen und nun vom Eis bei seiner Bewegung nach abwärts transportiert werden. Da beim Sturz von den Höhen Trümmer der verschiedensten Größe, vom riesigen Block bis zu dem kleinsten Splitter, herabgelangen, und da dem Gletscher die sichtende Kraft fehlt, die dem fließenden Wasser eigen ist, so sind diese Oberflächenmoränen durch die wilde Unordnung, die vollständige Ungleichmäßigkeit des Materials ausgezeichnet. Nach der Lage unterscheidet man verschiedene Arten von Moränen; die Seitenmoränen bilden lange Schuttwälle, die, bald auf dem Rande des Eises, bald neben diesem auf dem Gehänge gelegen, den Gletscher in seiner ganzen Erstreckung von der Firnmulde nach dem Ende begleiten. Die Bildung der Seitenmoränen bedarf kaum eines Wortes der Erklärung, es ist der unmittelbar von den Seitenwänden herabkommende Gesteinsschutt. Ebenso einfach ist die Deutung des gewaltigen Walles, der das vordere Ende des Gletschers zu umgeben pflegt, der Stirnmoräne; es sind die Trümmer, die der Eisstrom auf seinem Rücken getragen hat, und die sich beim Schmelzen des Endes vor ihm ablagern und sich im Laufe der Jahre zu einem mächtigen Damm auftürmen. Im Gegensatz zu diesen beiden Arten stehen die Mittelmoränen oder Gufferlinien, die allerdings nicht bei allen Fernern vorhanden sind, unter Umständen aber in größerer Zahl nebeneinander auftreten. Diese Gufferlinien sind bisweilen nur Aneinanderreihungen einzelner Blöcke, oft aber sind es mächtige Wälle, die langgestreckt der Richtung des Gletschers parallel laufen; es hat z. B. der Gorner Gletscher bei Zermatt im Wallis nicht weniger als 7—8 ausgezeichnet scharfer, genau paralleler Mittelmoränen. Auf dem Aargletscher scheidet eine gewaltige Mittelmoräne die beiden Hauptteile, den Lauteraar- und den Finsteraargletscher, von denen der erstere 7, der letztere 8 kleinere Gufferlinien trägt. Die größeren

Mittelmoränen erſcheinen als bedeutende Wälle, ja diejenige des Aargletſchers erreicht eine Höhe von 42 m und eine Breite von 200 m. Der Unerfahrene ſtaunt über die ungeheuern Trümmermaſſen, die in dieſer Weiſe thalab transportiert werden; allein eine genauere Beſichtigung läßt ſehr bald die wahre und ſehr eigentümliche Natur dieſes Dammes erkennen: er beſteht faſt ganz aus Eis, und nur ſeine Oberfläche iſt mit Blöcken und Trümmern bedeckt; wir haben dasſelbe Verhältnis vor uns, das wir bei den Gletſchertiſchen kennen gelernt haben; wie bei dieſen ein Block durch Abſorption und Abhaltung der Wärme das unter ihm gelegene Eis vor der Schmelzung ſchützt, daß es pfeilerartig über die umgebende Fläche hervorragt, ſo ſchützt in den Gufferlinien eine zuſammenhängende Schutt- und Trümmerdecke das darunterliegende Eis, ſo daß es als Wall ſeine Umgebung überragt.

Gletſcher-Gufferlinien. (Nach Photographie.)

Über die Entſtehung der Gufferlinien erhalten wir Aufſchluß, wenn wir ſie nach aufwärts verfolgen; ſie gehen nicht bis in die Firnmulde zurück, ſondern ſtoßen unabänderlich an einer Stelle, wo ſich zwei von oben kommende Gletſcher vereinigen, an die Felskante an, die die zwei Zuflüſſe voneinander ſcheidet, und man erkennt, daß die Mittelmoräne aus einer Vereinigung der Seitenmoränen der beiden zuſammenſtoßenden Gletſcher entſteht, die ſich nun an der Linie weiterbewegt, in der im weiteren Laufe thalabwärts die urſprünglich getrennten Eismaſſen aneinander grenzen (ſ. obenſt. Abbild.).

Es zeigt das in auffallender Weiſe, wie außerordentlich ſelbſtändig ſich zwei Eisſtröme nach ihrer Vereinigung verhalten, und wie wenig ſie ihr Material vermiſchen. Zwar ſieht man auch bei Flüſſen mit verſchieden gefärbtem Waſſer nach ihrer Vereinigung oft noch eine Strecke weit eine ſcharfe Grenze, aber das iſt doch ſehr geringfügig gegen die Erſcheinung bei Gletſchern, die auf jahrelangem Wege ihr Eis nicht vermiſchen; ja, dieſe Selbſtändigkeit geht ſo weit, daß ſich

die Gufferlinien sogar oft über die Gletscherbrüche fortsetzen. In dem wilden Chaos des Eiskataraktes allerdings gelingt es nicht leicht, ihre Spur zu verfolgen; aber unter ihm, wo der Gletscher wieder seine normale Gestalt annimmt, finden sich auch die Trümmer häufig genug wieder zu einer geschlossenen Moräne zusammen. Erst gegen das untere Ende pflegt sich die Deutlichkeit der Mittelmoränen zu verwischen; mit der in der Regel eintretenden Ausbreitung des stark reduzierten Eises, wohl auch durch Herunterstürzen der Blöcke von dem Eiswalle, verliert sie an Schärfe, die Trümmer breiten sich regellos über die ganze Fläche aus und gelangen endlich in die Stirnmoräne.

Außer diesen sehr deutlich sichtbaren Schuttmassen bringt aber der Gletscher auch an seiner Unterseite Material mit, die sogenannte Grundmoräne, die von den Oberflächenmoränen außerordentlich abweicht. Lange Zeit war ihre Existenz ganz übersehen worden, erst L. Agassiz hat darauf aufmerksam gemacht, und Ch. Martins hat ihr den jetzt gebräuchlichen Namen gegeben. In den neueren Glazialtheorien spielt diese Grundmoräne unter allen Bestandteilen des Gletschers weitaus die wichtigste Rolle, und so mag hier eine kurze Schilderung des Auftretens an den jetzigen Gletschern von Charles Martins folgen: „Dringt man zwischen dem Boden und der Unterseite eines Gletschers vor, die zahlreichen Höhlungen benutzend, welche sich am Ende des Gletschers öffnen, so trifft man auf ein Lager von Geschieben und feinem, mit Wasser getränktem Sand. Entfernt man dieses Lager, so erkennt man, daß das unterliegende Gestein durch die Reibung geglättet, poliert, abgenutzt und mit geradlinigen Kritzen bedeckt ist, welche mit einem Grabstichel oder einer feinen Nadel eingraviert sein könnten. Der Mechanismus, durch welchen diese Kritzen eingegraben sind, ist derselbe, den die Industrie verwendet, um Steine oder Metalle zu polieren. Mit Hilfe eines Schleifpulvers reibt man die metallische Fläche und gibt derselben Politur und Glanz, welche von dem Lichtreflex einer ungeheuern Menge feinster Kritzen hervorgebracht werden. Das Lager von Geschieben und Schlamm zwischen Gletscher und Untergrund ist das Schleifpulver, das Gestein die metallische Fläche, die Masse des Gletschers, die das Schlammlager fortwährend drückt und bewegt, indem sie abwärts gleitet, ist die Hand des Polierers. Daher sind die in Rede stehenden Kritzen in dem Sinne der Gletscherbewegung gerichtet, aber da diese letztere kleineren seitlichen Abweichungen unterworfen ist, kreuzen sich die Schrammen bisweilen und bilden untereinander spitze Winkel.

„Die Seitenwände des Gletschers stehen nicht in unmittelbarer Berührung mit den Thalwänden, es ist fast immer ein kleiner Raum zwischen beiden vorhanden. Zahlreiche Trümmer geraten zwischen die Eismauer und das Gestein, einige bleiben in diesem Zwischenraum eingeklemmt, andere gewinnen die Unterfläche des Gletschers und bilden die Grundmoräne. Zu diesen Blöcken gesellt sich ein Teil derjenigen, welche in die zahlreichen Spalten und Schächte des Gletschers fallen. Alle diese Trümmer, zwischen Fels und Gletscher eingeengt, werden von dieser unaufhörlich wirkenden Presse gedrückt, gestoßen und zerrieben. Sie bewahren nicht die Dimensionen, welche sie besaßen, als sie sich vom Felsen loslösten. Die meisten werden zu einem undurchlässigen Schlamm zerkleinert, welcher, mit dem dem Gletscher entströmenden Wasser gemischt, das Schlammlager bildet, auf welchem dieser aufruht. Die anderen bewahren die unauslöschlichen Spuren des Druckes, dem sie ausgesetzt gewesen sind. Alle ihre Ecken werden abgestoßen, ihre Kanten verwischen sich, sie nehmen die Form gerundeter Geschiebe an oder zeigen ungleiche Flächen, welche von der andauernden Reibung herrühren. Ist das Gestein weich, wie Kalkstein, so wird das Geschiebe nicht nur abgerundet, sondern erhält auch eine Menge sich in allen Richtungen kreuzender Kritzen (s. Abbildung, S. 558). Diese gekritzten Geschiebe sind von großer Bedeutung für das Studium der Ausdehnung der alten Gletscher, es sind die abgenutzten Münzen, deren Gegenwart in fast unzweifelhafter Weise die frühere Existenz eines verschwundenen

Gletſchers anzeigt, denn nur ein Gletſcher kann in dieſer Weiſe Geſchiebe bearbeiten, abnutzen und kritzen.“ Dieſe letztere Angabe iſt aber unrichtig; auch die ſogenannten Murbrüche liefern gekritzte Geſchiebe, und dasſelbe geſchieht, wenn in einem Fluſſe mit Geröllen verſehenes Grundeis treibt.

Natürlich ändert ſich die Beſchaffenheit der Moränen und ihr Verhältnis zum Gletſcher ſehr weſentlich, je nachdem ſich dieſer im Anwachſen oder im Rückgang befindet oder eben in einer Periode des Gleichgewichts begriffen iſt. Bei mächtig vorrückenden großen Gletſchern ſind Seiten- und Stirnmoränen außerordentlich entwickelt. Die erſteren erreichen in einzelnen ſehr günſtigen Fällen eine Höhe von 60, die Stirnmoräne, in der ſich aller Gletſcherſchutt vereinigt, ſogar von 100 m; die Seitenmoränen ſchließen ſich dicht an den Rand an, die Stirnmoräne bildet, unmittelbar das Gletſcherende umfaſſend, einen weiten, nach vorn konvexen Bogen, in der Mitte mit einem Durchbruch für den Gletſcherbach, während ſie rechts und links allmählich in den Seitenmoränen verläuft. Tritt Stillſtand ein, ſo häuft ſich der fortwährend ſich mehrende Schutt zur alten Moräne hinzu und vergrößert dieſe immer mehr. Wenn aber der Gletſcher zurückgeht und ſich ſowohl verkürzt als an Dicke verliert, dann läßt er die alten großen Moränen liegen, und da die Schuttzufuhr eines Jahres zur Bildung ausgiebiger Wälle nicht hinreicht, ſo wird das Terrain, von dem der Gletſcher zurückgegangen iſt, nur mit Schutt beſtreut. So kommt es, daß z. B. jetzt, nach etwa dreißigjährigem Rückgang, vielleicht kein einziger Gletſcher in den Alpen unmittelbar an ſeinem Ende eine große Stirnmoräne hat; dagegen ſieht man thalabwärts die gewaltige Stirnmoräne, die vorhanden war, als das Eis vorzuſchreiten aufhörte. Sie gibt in den meiſten Fällen ſehr einfach an, um wieviel der Gletſcher in der letzten Rückzugsbewegung an Terrain verloren hat. Ebenſo bleibt die Seitenmoräne eines ſchwindenden Gletſchers an den Gehängen liegen, hoch über der abſchmelzenden Eisfläche, und gibt den Verluſt an Eisdicke ebenſo genau an wie die Endmoräne den an Länge.

Gekritztes Geſchiebe von der Grundmoräne eines Gletſchers. Vgl. Text, S. 557.

Beginnt dagegen der Gletſcher nach einer längeren Rückzugsperiode wieder vorzudringen, ſo ſammelt er ſehr bald eine anſehnliche Stirnmoräne, denn im Vorrücken ſchiebt er all den zerſtreuten Schutt vor ſich her, den er beim Zurückgehen hat liegen laſſen, und drängt oft ſelbſt ältere Stirnmoränen, die er erreicht, nach vorwärts. Durch die Berückſichtigung dieſer Verhältniſſe kann man ſofort aus der Betrachtung eines Gletſchers und ſeiner Schuttmaſſen wichtige Schlüſſe über ſeine Geſchichte und ſeinen Zuſtand erhalten; die äußerſte Stirnmoräne bezeichnet die größte Länge, die der Gletſcher überhaupt erreicht hat, die innerſte die Grenze ſeines jüngſten Wachstums. Berührt das Eis den innerſten Wall, ſo iſt der Gletſcher ſtationär oder im Vorrücken begriffen; iſt die Stirn dagegen ohne deutliche Moräne, ſondern breitet ſich zwiſchen der innerſten Stirnmoräne und dem Beginn des Eiſes ein locker mit Schutt beſtreutes Terrain aus, ſo hat man es mit einem im Rückgange begriffenen Gletſcher zu thun.

Die weiten Flächen, die in den letzten Jahrzehnten eisfrei geworden ſind, geben uns Gelegenheit, die Einwirkung des Gletſchers auf ſeinen Untergrund, ſeine erodierende Thätigkeit, zu beobachten; wie ſchon erwähnt, zeigt ſich der Boden geglättet und mit Kritzen verſehen, die im

allgemeinen mit der Achse des Gletschers parallel laufen. Aber häufig genug findet man auch, daß sie sich kreuzen und schneiden. Dies ist eine Folge der häufig vorkommenden Unregelmäßigkeiten in der Bewegung des Eises; man darf nicht, wie es wohl geschehen ist, aus dem Vorhandensein sich kreuzender Schrammen auf einem alten Gletscherboden sofort schließen, daß nacheinander zwei, aus verschiedenen Richtungen kommende Gletscher diese Stelle passiert haben.

Alle Vorsprünge und Ecken des verlassenen Gletscherbettes findet man abgeschliffen und abgerundet, die Oberfläche ist mit einer Menge sanft gerundeter Erhabenheiten bedeckt, zwischen denen muldenförmige Vertiefungen liegen. Es sind das die vielgenannten Rundhöcker, die

Rundhöckerlandschaft der Umgebung von St. Moritz im Engadin.

roches moutonnées der Franzosen, deren Bezeichnung vielfach auch im Deutschen Anwendung gefunden hat. Die Glättung der Rundhöcker ist bisweilen eine völlige Politur, durchsetzt von feinen eingeritzten Linien; es kommt aber auch vor, daß die Glättung nur wenig angedeutet ist, die Schrammen dagegen scharf hervortreten. Selbst wenn die Rundhöcker stark abgewittert und die Schrammen verschwunden sind, ist die allgemeine konvexe Rundung noch so deutlich und so bezeichnend, daß man in manchen Alpenthälern, z. B. im Unterinnthal und in der Gegend von Meran in Tirol oder im Engadin, die während der Eiszeit von riesigen Gletschern erfüllt waren, aus den Bergformen mit ziemlicher Genauigkeit angeben kann, bis zu welcher Höhe sich die Eismassen erhoben haben. Die obenstehende Abbildung zeigt die Umgebung von St. Moritz im Engadin; an den Bergen tritt der Kontrast zwischen der tieferen rundhöckerigen Partie und den steil abstürzenden Gipfelregionen aufs deutlichste hervor.

Wenn nun die Gletscher ihre Unterlage in dieser Weise nicht nur polieren und schrammen, sondern auch in charakteristischer Weise modellieren können, so muß ihnen unzweifelhaft eine

namhafte erodierende Kraft zukommen. Schon das Eis des Gletſchers für ſich allein müßte eine gewiſſe Abſchleifung des Untergrundes bewirken; in Wirklichkeit wird es aber, wie wir geſehen haben, durch eine Lage von Geſteinstrümmern, Kies und Sand unterſtützt, die der Gletſcher an ſeiner Sohle als Grundmoräne fortſchleift, und die ihn befähigt, den Felsboden wie mit einer mächtigen Feile zu bearbeiten. Während nun eine Reihe von Forſchern nach dem Vorgange von Tyndall und Ramſay dieſe Eroſionswirkung außerordentlich hoch anſchlägt und die Gletſcher für befähigt hält, den Untergrund bis in beträchtliche Tiefen förmlich auszupflügen und die Geſteine des Bodens aufzuarbeiten, ſehen andere die eroſive Kraft der Gletſcher im Ausfegen des alten Thalſchuttes, im Ausſchleifen leichter Thalmulden und Glätten der Felsvorſprünge erſchöpft. Nach der letzteren Betrachtungsweiſe würde ſich die bodengeſtaltende Arbeit der Gletſcher auf eine gewiſſe Ausweitung der vorgebildeten Thäler beſchränken, die erſtere aber ſchreibt den Gletſchern eine ſelbſtändige und tiefgreifende Umgeſtaltung des Reliefs zu. Wenn der Thalboden an einzelnen Stellen ausgehöhlt wird, ſo ſammelt ſich dort nach dem Rückzuge der Vereiſung das Thalwaſſer an, und es entſtehen *Seen*. Auch tief eingeſchnittene Fjorde können durch Gletſchererоſion ausgeſchliffen werden, wenn dieſe wirklich von ſo bedeutendem Einfluß iſt. Nun findet man in der That in allen ehemals vergletſcherten Gebieten zahlreiche Seen, und ebenſo iſt die Fjordbildung an vordem vergletſcherte Küſten gebunden. Nach der Anſchauung derjenigen Forſcher, welche für eine aushobelnde Thätigkeit der Gletſcher eintreten, würde die Glazialeroſion in der Bildung von Seen ihren Gipfelpunkt erreichen, und es läßt ſich ſomit die Frage nach der wahren Bedeutung dieſes Faktors für die Bodengeſtaltung auch ſo ſtellen: Iſt die Seenbildung in den ehemals vergletſcherten Gebieten auf Glazialeroſion zurückzuführen oder nicht? Und auf dieſe Frage werden wir auch weiter unten näher eingehen müſſen. Vorerſt aber wollen wir noch einige andere für die Beurteilung der Glazialeroſion wichtige Thatſachen kennen lernen.

Man hat verſchiedene Wege betreten, um eine genauere Einſicht in das Weſen der Eroſionswirkung der Gletſcher zu gewinnen. An den Eisſtrömen der Jetztzeit, an den erſt kürzlich bloßgelegten Teilen der Gletſcherbetten hat man durch direkte Beobachtung entſcheidende Thatſachen aufzufinden geſucht, man hat ferner die mächtigen Ablagerungen der Eiszeit erforſcht und endlich das Problem auch von der phyſikaliſchen Seite beleuchtet. Nach der Anſicht der Phyſiker ſollte die eroſive Wirkung des Eiſes durch ſeine Plaſtizität erheblich herabgedrückt werden. Auch wenn dieſe Vorausſetzung richtig ſein ſollte, ſo dürfte dies durch den auf dem Wege des Experiments erwieſenen Umſtand aufgewogen werden, daß die Gletſcher auf ihren Felsboden auch einen beträchtlichen verwitternden Einfluß ausüben, und zwar infolge des dort häufigen Wechſels von Tauen und Frieren. Die phyſikaliſche Betrachtungsweiſe hat alſo bis jetzt keine beſtimmten Anhaltspunkte ergeben, und auch die Beobachtungen an jetzigen Gletſchern laſſen eine verſchiedenartige Deutung zu. Wohl iſt zu wiederholten Malen bemerkt worden, daß vorrückende Gletſcher ſelbſt lockeren Geſchiebegrund oder einen Grasteppich unverändert gelaſſen haben, aber dies war an den unterſten Teilen der Gletſcherzungen der Fall, wo die Eisdicke ſtark reduziert und viel Schmelzwaſſer vorhanden iſt; weiter oben, wo wegen größerer Mächtigkeit des Eiſes und geringerer Unterſchmelzung ein feſterer Anſchluß des Gletſchers an den Felsgrund bewirkt wird, muß natürlich die Eroſion ſtärker ſein. Überdies ſtehen dieſen Fällen andere gegenüber, wo Gletſcher die im Wege ſtehenden lockeren Maſſen, Moränen, Raſendecken, Wälder und Häuſer zuſammengeſchoben oder vollkommen überwältigt haben. Das Auspflügen anſtehenden Felsgeſteins und das Abreißen kleinerer Bruchſtücke iſt an heutigen Gletſchern mit voller Beſtimmtheit noch nicht beobachtet worden, und ſo iſt der Geſamteindruck, den die Verhältniſſe der gegenwärtigen Eisſtröme beſonders in den Alpen hervorrufen, der Annahme einer tiefgreifenden Eroſion nicht günſtig. Wo immer man die durch den Gletſcherrückzug der

letzten Dezennien freigelegten Strecken in unseren Alpen untersucht, wird man nur verhältnismäßig geringfügige Erosionswirkungen wahrnehmen.

Ein anderes Bild gewährt schon das viel mächtigere Inlandeis Grönlands. Hier sind die Gletscherflüsse schlammbeladen und die Grundmoräne mächtig, und sie ist, da sie bei dem fast völligen Mangel von Oberflächenmoränen nicht aus diesen entstanden sein kann, gewiß durch Abreißen von Gesteinsstücken aus dem Untergrund gebildet worden. Es liegt natürlich sehr nahe, diese stärkere Wirkung auf die viel größere Mächtigkeit des Inlandeises zurückzuführen, und ebenso wird man auch den Gletschern der Eiszeit eine gewaltigere Thätigkeit nicht absprechen können, denn auch diese waren erwiesenermaßen unvergleichlich mächtiger als die zwerghaften Epigonen von heute.

In den Thälern finden sich vielfach bis an den Rand des Gebirges und bis weit hinaus in die vorliegende Ebene Spuren der diluvialen Vergletscherung. An Berghängen, in Thälern und Wassergebieten, die mit den kristallinischen Teilen der Alpen in keiner Verbindung stehen, treten massenhaft Trümmer von kristallinischen Gesteinen auf, die unmöglich durch Wasser an ihren Platz gekommen sein können; riesige Blöcke finden sich nicht nur in weiten Thälern fern von ihrem Ursprungsort, sondern auch in der Ebene, ja in der Schweiz kommen die „erratischen" Blöcke von Alpengesteinen sogar auf bedeutenden Höhen des den Alpen gegenüberliegenden Juragebirges vor. Alle Versuche, deren Transport durch furchtbare Überschwemmungen oder durch Eisberge eines ehemaligen Binnensees zu erklären, sind vollständig gescheitert; sie können nur durch Gletscher dorthin gelangt sein. Auch das Moränenmaterial findet sich vor, bis zu 100 m Mächtigkeit anschwellende ungeschichtete Massen bald lehmiger, bald sandig-grusiger Beschaffenheit, in denen größere und kleinere Blöcke eingebettet sind; die Blöcke sind mehr oder weniger gerundet, poliert und mit den charakteristischen Gletscherkritzen versehen. Dieses Moränenmaterial breitet sich in den Alpenthälern und weithin über die Ebene aus. Räumt man den Schutt weg, so findet man die darunterliegende Fläche harter Gesteine, z. B. der Nagelfluh der bayrischen Hochebene, geglättet und gekritzt. Die Massen dieser Ablagerung sind so groß, daß sie den landschaftlichen Charakter eines breiten Gürtels des Vorlandes rings um einen großen Teil der Alpen wesentlich bestimmen. Die großen Endmoränen bilden viele bogige Höhenzüge, und hinter ihrem äußersten Gürtel „beginnt ein auffallend koupiertes, anmutiges und wechselvolles Hügelland; die mittlere Höhe ist unbedeutend, die Hügelzüge differieren nur wenig in der Höhe voneinander, aber sie verlaufen durchaus regellos, häufig in langgezogenen Rücken, manchmal bogenförmig, oder sie sind in einzelne kegelförmige Hügel aufgelöst. In den größeren Einsenkungen liegen bedeutende Seen, die kleineren Kessel werden von fischreichen Seen und Weihern ausgefüllt, welche in der Moränenlandschaft außerordentlich häufig sind. Da, wo den Einsenkungen eine offene Wasserfläche fehlt, wird ihre Stelle meist von einem nassen Torfmoor oder von sumpfigen Wiesen ausgefüllt. In der Richtung der thalähnlichen Depressionen herrscht ebensowenig ein Gesetz wie in der Anordnung der Hügelzüge, in einigen fließen Bäche, andere bieten das eigentümliche Schauspiel von Trockenthälern dar." (Zittel.) Diese Gestaltung der Moränenlandschaft kann nicht einer Anordnung und Modellierung durch fließendes Wasser ihre Entstehung verdanken, sondern es ist die ursprüngliche unregelmäßige Lagerung von Moränenmaterial, wie sie der Grundmoräne riesiger Gletscher eigen ist.

Aber auch dem nördlichen Teile von Deutschland hat die diluviale Vergletscherung ein bezeichnendes Gepräge verliehen. Die Eismassen Skandinaviens füllten ehedem die ganze Ostsee aus, sie bedeckten die norddeutsche Ebene bis zu den mitteldeutschen Gebirgen, und von Holland bis an den Fuß der galizischen Karpathen und bis weit nach Rußland hinein erstreckte sich eine ungeheure Eiswüste. Mächtige Grundmoränen wurden in der Ebene abgesetzt und die an

ſkandinaviſchen Geſteinen reichen Blocklehme gebildet, deren Übereinſtimmung mit den Grundmoränen der alpinen Gletſcher, mit dem „Till" Schottlands, dem „Kroßtenslera" Skandinaviens eine auffallende iſt. Auch Endmoränen des im Rückzug begriffenen Inlandeiſes ſind nachgewieſen worden. Wo in der Ebene einzelne Inſeln von geologiſch älteren Geſteinen aufragten, wurden ſie auf der Oberfläche mit ausgedehnten Gletſcherſchrammen bedeckt. Sowohl aus der Mächtigkeit der Grundmoränen als auch aus der enormen Größe des Vergletſcherungsgebietes müſſen wir ſchließen, daß die Mächtigkeit des diluvialen Inlandeiſes weitaus größer war als die der gegenwärtigen Eisdecke in Grönland. Die Maſſe des von Norden her mitgebrachten Schuttmaterials war eine ſo bedeutende, daß faſt alle urſprünglichen Unebenheiten des Bodens im Groben ausgeglichen werden konnten und eine neue Oberflächengeſtaltung geſchaffen wurde, die faſt gänzlich das Produkt der Eiszeit iſt. Die ſtimmungsvollen Seen Maſurens und der Mark, die welligen Hügel zwiſchen einſamen Mooren und ſtillen Waſſerläufen, die berüchtigten Sande und die fruchtbaren Lehmböden, ſie alle ſtehen mit der Eiszeit in Zuſammenhang.

Indem man nun dieſe Bildungen nicht nur in den Alpen und in Norddeutſchland, ſondern vor allem auch in Schottland und in Skandinavien, in Nordamerika eingehend unterſuchte, hat man wiederum neues Material für die Frage der Glazialeroſion gefunden. So hat man beobachtet, daß die Grundmoräne in zerklüfteten Untergrund eingepreßt, dieſer zerriſſen und vielfach geſtaucht wurde. Man hat ferner wahrgenommen, daß die Zuſammenſetzung der Grundmoräne in gewiſſem Grade von der Beſchaffenheit des Untergrundes abhängig iſt. Wo dieſer z. B. in den Nordalpen aus Dolomit beſteht, ſieht die Grundmoräne faſt wie Dolomitgrus aus, und wo Schieferthone anſtehen, wird ſie thonig ꝛc. Wenn ſo „der jeweilige Untergrund durch die Moräne hindurchſchimmert", wird man dies wohl darauf zurückführen können, daß der Gletſcher ſeinen Boden angeſchürft und dieſem Material zur ſogenannten „Lokalmoräne" entnommen hat. Allerdings iſt dies nicht die einzig mögliche Erklärung, denn die Grundmoräne wird ja zum Teil auch aus den Geſchieben und Trümmern gebildet, die von dem vorrückenden Gletſcher im Thale vorgefunden werden, und dieſe beſtehen wiederum zum größeren Teile aus Bruchſtücken des an Ort und Stelle anſtehenden Felsgeſteins. Eine andere Erſcheinung aber läßt ſich wohl nur auf eine ausgiebige Anritzung des Bodens durch die eiszeitlichen Gletſcher zurückführen: die große Mächtigkeit der Grundmoränen Skandinaviens und Norddeutſchlands, die in Gegenden entſtanden ſind, wo nur wenig Bergmaſſen als Nunataks aus dem mächtigen Mantel des Inlandeiſes hervortraten, und daher wenig Material auf der Oberfläche der Gletſcher ausgeſtreut war, das zur Bildung der Grundmoränen dienen konnte. So bietet die eiszeitliche Vergletſcherung Verhältniſſe dar, die im allgemeinen der Annahme einer tiefergreifenden Eroſionswirkung der Gletſcher günſtig ſind und mindeſtens beweiſen, daß ſich mit der Zunahme der Gletſcherdicke auch die Eroſion ſteigert. Wir wollen nun noch die Umſtände etwas näher kennen lernen, unter denen in ehedem vergletſcherten Gebieten Seen auftreten.

Entſtehung der Seen.

Wenn wir in alten Gletſchergebieten Umſchau halten, ſo finden wir ſie gegenüber den niemals vergletſchert geweſenen Gegenden durch großen Seenreichtum ausgezeichnet. Zwar gibt es auch außerhalb der Glazialgebiete mitunter beträchtliche Seen, denn die Entſtehung von Becken, deren Sohle tiefer liegt als die Ränder, kann durch die verſchiedenſten Urſachen herbeigeführt werden; alſo nicht überall, wo heute Seen ſind, waren ehedem Gletſcher, wohl aber haben die eiszeitlichen Gletſcher in allen ihren Verbreitungsgebieten Seen hinterlaſſen. Natürlich kann es auch vorkommen, daß in einem ehemaligen Glazialgebiete Seen entſtehen, die vom

Glazialphänomen ganz unabhängig sind. Um den Gegenstand richtig beurteilen zu können, ist es daher notwendig, daß wir uns über die Bildung der Seen im allgemeinen Rechenschaft geben.

Verhältnismäßig klar liegt die Sache bei den großen Binnenbecken, die im Zentrum größer, rings von höheren Regionen umgebener Niederungen liegen. Hier haben wir es nicht mit der Wirkung erodierender und denudierender Kräfte zu thun, sondern mit den großen tektonischen Zügen des Gesamtbaues der betreffenden Gegenden. Für den Aral- und Kaspisee, den Baikalsee, für den Tsadsee und die großen Wasserbecken Zentralafrikas ist eine solche Erklärung die einzig mögliche. Ob sie einstmals Meeresbuchten waren, die durch irgend welche Veränderungen in der Verteilung von Wasser und Land vom Ozean abgetrennt worden sind, oder ob sie stets Binnenbecken waren, muß für jeden Fall einzeln entschieden werden. Für die Beurteilung dieser Frage ist es von Wichtigkeit, die in diesen Seen lebenden Tiere zu untersuchen und zu erforschen, ob sich unter ihnen Geschöpfe finden, die für gewöhnlich dem süßen Wasser fremd sind und sich im Meer aufhalten. Wenn wir z. B. im Kaspisee Seehunde, Meeresfische und einzelne Meeresmuscheln, wie Cardium edule, Venus gallina ꝛc., finden, wenn der Baikalsee ebenfalls Seehunde und eine überaus reiche Krebsfauna mit verschiedenen marinen Typen beherbergt, so werden wir mit Recht aus diesen „Relikten“[1] schließen dürfen, daß diese Becken einst mit dem Meere im Zusammenhange waren, und daß jene Formen Überbleibsel der ursprünglichen marinen Fauna sind, die sich in diesen Reliktenseen bis auf den heutigen Tag erhalten haben.

Derartige marine Typen kommen jedoch nicht nur in solchen großen Wasseransammlungen vor, die man schon als Binnenmeere bezeichnen kann, sondern auch in manchen weit kleineren Seen. Der Gardasee hat z. B. einige Fische und Krebse (Blennius, Gobius, Palaemon) von marinem Gepräge; einige solche Krebse finden sich im Wener- und Wettersee in Schweden, und ähnliche Beispiele werden aus Rußland, Nord-, Zentral- und Südamerika, Grönland, Borneo ꝛc. angeführt. In einem Falle, wie bei den schwedischen Seen, wo eine beträchtlichere Zahl teilweise ziemlich großer Formen marinen Typus tragen, ist kaum eine andere Deutung möglich als die, daß man es mit Relikten des Meeres zu thun habe. Wenn aber z. B. im Genfer See nur ein winziger Muschelkrebs aus einer Gattung vorkommt, die sonst im Meere lebt, so liegt es jedenfalls viel näher, an eine Verschleppung der Eier oder auch von entwickelten Individuen an den Füßen oder dem Federkleide eines Wasservogels zu denken, als den Genfer See als einen Reliktensee zu bezeichnen.

Da die tektonischen Erscheinungen sehr mannigfacher Art sind, kann man natürlich auch unter den durch sie bedingten Seen eine Reihe kleinerer Gruppen unterscheiden. Am häufigsten geben wohl Senkungen, Kesselbrüche und namentlich Grabenbrüche Anlaß zur Seebildung, indem das Wasser von allen Seiten der sich bildenden Versenkung zulaufen und sie ganz oder teilweise ausfüllen muß. Das Tote Meer und die großen ostafrikanischen Seen sind ausgezeichnete Beispiele aus dem Tafellande, der Plattensee, der Gardasee, die kleinen Lapisinischen Seen in den Venezianer Alpen solche aus dem Faltengebirge. Viel geringer ist die Zahl der Seebecken, deren Entstehung auf Faltung zurückzuführen ist, aber wohl nur deshalb, weil in den gefalteten Gebirgen die Erosion am wirksamsten ist und die ursprünglichen wannenförmigen Vertiefungen längst durchschnitten und in Flußthäler umgestaltet hat. Ferner können Vertiefungen des Geländes, in denen sich später Wasser ansammelt, durch Erdfälle infolge unterirdischer Auslaugungen und auch durch Erdbeben entstehen, oder endlich auch durch Erosion hervorgerufen werden.

Viel einfacher stellen sich die Verhältnisse bei einer großen Gruppe von Seen dar, die durch Abdämmung oder Aufschüttung eines Walles entstanden sind. Von solchen sind zunächst die

[1] Relikten (von relinquere, zurücklassen), Überbleibsel einer ursprünglich vorhandenen Meeresbevölkerung in Binnenseen.

seichten, meist schwach gesalzenen Wasseransammlungen an der Küste zu nennen, die lediglich durch Dünenbildung oder mittels Anschwemmung von Material durch eine Flußmündung vom Meere abgeschlossen sind; hierher gehören die Haffbildungen der Ostsee, die Limane des Schwarzen Meeres, die Seen in den Deltagebieten der Flüsse und eine Reihe ganz analoger Vorkommnisse an den verschiedensten Meeresküsten, die so klare Verhältnisse bieten, daß wir sie nicht weiter zu erörtern brauchen. Nahe verwandt sind die tiefen, ebenfalls an der Meeresküste gelegenen Seen nördlicher Breiten, die lediglich durch die Abdämmung eines Fjordes, einer jener merkwürdigen, langgezogenen Buchten entstanden sind, wie sie z. B. die norwegischen und schottischen Gestade auszeichnen. Im Hochgebirge kommt es nicht selten vor, daß Flüsse durch Bergstürze, Schuttkegel oder Lawinen abgedämmt und zu Seen gestaut werden. Wir erwähnen ein Beispiel aus den Karpathen, weil es sich dabei um ein in neuerer Zeit eingetretenes und sicher festgestelltes Ereignis handelt. Im östlichen Siebenbürgen, in einem der wildesten Teile des Grenzgebirges gegen die Moldau, im Nagy Hagymas bei György Szent Miklos, liegt, von urwaldbedeckten Hügeln und einzelnen gewaltig ansteigenden Felsbergen umrahmt, in einem düsteren Kesselthale ein kleiner See, der Vörösto. Der erste Anblick dieses seltsamen dunkelgrünen Wassers zeigt sogleich, daß sich hier ein außergewöhnliches Ereignis abgespielt hat, denn aus dem Wasserspiegel ragen oder ragten wenigstens noch im Jahre 1889, gigantischem Schilfe vergleichbar, die grauen, abgestorbenen Stämme gewaltiger Fichten empor. Der See breitet sich also an einer Stelle aus, die vor einer kurzen Zeitspanne noch Waldgrund gewesen sein muß. In der That ist er durch einen mächtigen Bergsturz entstanden, der vor etwa 40 Jahren den oberen Teil des Thales absperrte und das Wasser aufstaute.

In den Alpen ist ein bekanntes Beispiel der Antholzer See, der aus der Stauung des Thalwassers durch große Murenschuttkegel entstanden ist. In ähnlicher Weise kann ein Hauptthal durch den Schutt eines Seitenthales abgedämmt werden und umgekehrt. Ein Beispiel der letzteren Art haben wir schon im Vorhergehenden (S. 482) erwähnt, den Achensee in Nordtirol, der durch die überaus mächtigen Schotterablagerungen des Innthals gestaut und gezwungen wurde, seinen Abfluß nordwärts nach der Isar zu nehmen. Aber auch durch Gletscher und deren Moränen können Thäler abgesperrt und in Seen umgewandelt werden; es sind dies die bekannten Eisseen, deren oft sehr wechselvolle Geschichte wir an dem Eissee des Vernagtgletschers (S. 550) kennen gelernt haben.

Als eine weitere Art von Seen, deren Ursprung sehr einfach zu erklären ist, mögen endlich noch die Kraterseen erwähnt werden; die kreisförmigen Einsenkungen der erloschenen Vulkane werden sehr oft von Wasser erfüllt, und die Zahl der Seen, die so entstanden sind, ist überaus groß. Die Explosionskrater (Maare) der Eifel vom Laacher See bis zu kleinen Ringbecken herab sind heute zum großen Teile Wasserreservoirs. Viele der schönen Seen Italiens, in Toscana, im Albanergebirge und in der Umgebung von Neapel, gehören hierher.

Wenn wir nun für die Wasserbecken in den ehedem vergletscherten Gebieten eine Deutung geben sollen, so nehmen wir am besten die Alpen zum Ausgangspunkte, weil sie am besten bekannt sind und die mannigfaltigsten Verhältnisse bieten. Rings um die Alpen herum bemerken wir einen Gürtel großer Seen, der sich seiner Lage nach am Rande der eiszeitlichen Vergletscherung befindet. Wo die alten Alpengletscher weit in das Vorland hineingereicht haben, liegen diese großen Seen außerhalb des Gebirges auf der schweizerischen oder oberbayrischen Hochebene. In den Teilen aber, wo die Vergletscherung weniger weit reichte, findet man sie halb im Gebirge und halb auf dem Vorlande gebettet, wie die Seen am Südabhange der Alpen, oder im Gebirge nahe seinem Rande, wie die Salzkammergutseen, oder endlich mitten darin, wie die Seen Kärntens. Endlich gibt es auch alte Gletscherbetten ohne solche

große Randseen, wie die Thäler des Lech, Inn, der Salzach, Steyr, Enns und Mur, aber dies hat seinen Grund nicht in dem Mangel entsprechender Beckenbildungen, sondern erklärt sich durch die seither erfolgte Verschüttung mit Geschieben.

Es mag auffallend erscheinen, daß die Gletscher gerade da, wo sie aus dem Gebirge heraustreten und an Dicke verlieren, eine so bedeutende Erosionswirkung ausgeübt haben sollten, daß sie zur Aushöhlung jener großen Randseen genügt hätte. Trotzdem läßt sich eine gewisse Erklärung dafür geben. Wo die Gletscher aus den stärker geneigten Alpenthälern in das ebene Vorland oder in die wenig geneigten breiten Hauptthäler hinaustraten, wurden sie zu einer plötzlichen Abbiegung aus ihrer Bewegungsrichtung genötigt, der sie wegen ihrer Schwerbeweglichkeit nicht sofort nachkommen konnten. So mußte sich das Bestreben entwickeln, die alte, stärker nach abwärts geneigte Richtung beizubehalten, und die Gletscher mußten daher an dieser Stelle besonders kräftig über den Boden schleifen und stark erodieren. Mit dieser Anschauung scheint der Umstand in Übereinstimmung zu stehen, daß sich an den Teilen der Alpen, wo die Gletscher mit dem größten Gefälle an den Rand hinabgelangt sein mußten, auch die tiefsten Seen vorfinden, die lombardischen Seen, deren Tiefe 300—400 m betragen mag. Am Ausgang der großen Thäler der Schweiz erreichen die Seen eine Tiefe von 200—330 m und am Ausgang der bayrischen und österreichischen Thäler nur eine von 100—200 m. Die mitgeteilten Tiefen mögen bei flüchtiger Betrachtung sehr groß erscheinen; im Verhältnis zur Länge der betreffenden Seen aber haben diese Zahlen wenig zu bedeuten, denn es beträgt z. B. beim Comersee die Tiefe nur den 130. Teil, beim Starnberger See nur den 180. Teil, beim Genfer See nur den 230. Teil der Länge, und so sind diese alpinen Randseen im Grunde genommen doch recht flache Mulden.

Auch gewisse geologische Beobachtungen scheinen für die glazialerosive Natur der Randseen zu sprechen. Dies ist nach A. Penck namentlich beim Starnberger See südlich von München der Fall. Dieser See liegt ganz außerhalb des Gebirges in der oberbayrischen Hochebene; unter den Moränen des alten Isargletschers, in dessen Bereich der See fällt, findet sich eine Decke zu festem Konglomerat erhärteter Gerölle, der in der Hochebene so verbreiteten sogenannten Nagelfluh. Unter der Nagelfluh liegt am Starnberger See jüngeres Tertiär in ungestörter Lagerung, und die Bänke der Nagelfluh fallen sehr sanft und allmählich gegen Norden. Der See ist eine in diese Gebilde eingesenkte Vertiefung; der Seeriegel, die Terrainschwelle, die das Becken nach Norden abschließt und durch die der Abfluß, die Würm, ihr Bett genagt hat, besteht aus Tertiär. Die Nagelfluh bildet nicht nur am Nordende eine zusammenhängende Ablagerung, sondern sie tritt auch am Ost- und Westufer auf und bricht gegen den See ab, so daß man mit Bestimmtheit folgern kann, daß sie einst über den See oder wenigstens über dessen Nordhälfte weg eine zusammenhängende Decke bildete. Unter diesen Verhältnissen kann man behaupten, daß das Seebecken ganz oder teilweise erst nach Ablagerung der Nagelfluh ausgefurcht worden ist. Da aber die Nagelfluh zu Beginn der Eiszeit entstanden ist, müssen wir weiter folgern, daß das jetzige Seebecken ein Werk der späteren Glazialzeit ist. Aus Gründen, die wir hier nicht näher besprechen können, wird angenommen, daß das Becken als solches zwar schon früher vorhanden, aber verschüttet war, so daß in der späteren Glazialzeit nur die Wiederausräumung durch den Gletscher vorgenommen worden wäre.

Unter den oberbayrischen Randseen mag für den Ammer- und Chiemsee und wohl auch für den Tegernsee genau dasselbe gelten wie für den Starnberger See. Aber dem unmittelbar östlich vom Tegernsee liegenden Schliersee, der mit jenem in Lage und Beschaffenheit die größte Übereinstimmung zeigt, fehlt der große Gletscher, der ihn hätte aushöhlen können. Die Größe seines Wassergebietes ist ganz unbedeutend, und selbst wenn die niedrige Wasserscheide gegen das Aurachthal kein Hindernis bildete, ihm Eis vom Gehänge des Jägerkammes, der Brecherspitze

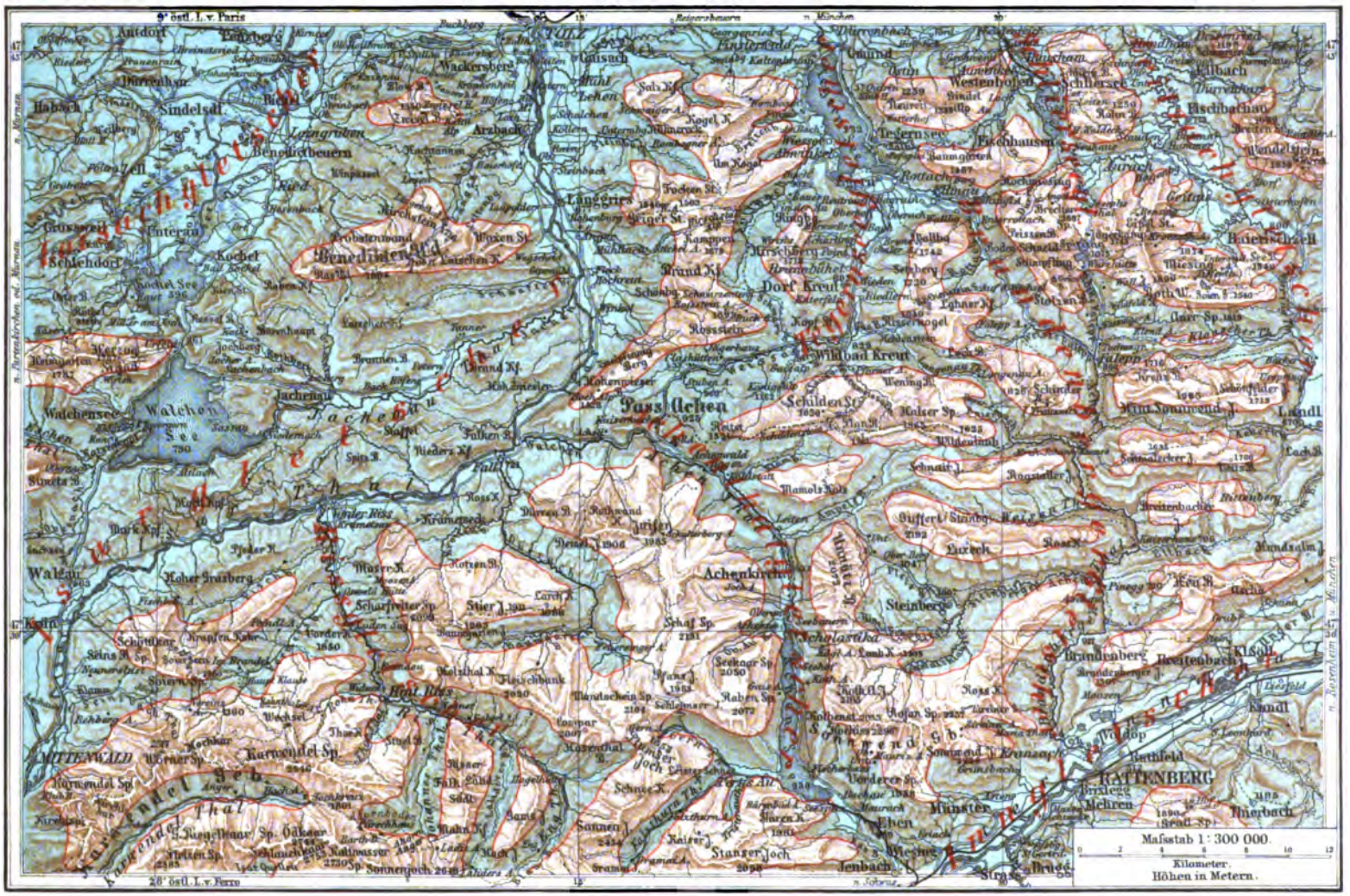
und dem zum Spitzingſee hinaufziehenden Gehänge zuzuführen, ſo war doch dieſer Gletſcher überaus klein, ſeine Mächtigkeit kann kaum mehr als 100 m betragen haben, ſo daß wohl die Vermutung, er habe das Becken des Schlierſees ausgetieft, von ſelbſt wegfällt (vgl. die beigeheftete Karte „Die Vergletſcherung des Tegernſeegebietes während der Eiszeit"). Gelingt es, in der oben angedeuteten Weiſe die glazialeroſive Natur der Randſeen bis zu einem gewiſſen Grade verſtändlich zu machen, und ſprechen auch die Verhältniſſe des Starnberger Sees dafür, ſo erheben ſich dagegen beim Schlierſee bedeutende Schwierigkeiten, und wir werden weiter unten ſehen, daß die Annahme der Ausſchleifung auch bei anderen Randſeen erheblichen Hinderniſſen begegnet. Wir wollen aber dieſen Gegenſtand vorläufig nicht weiter verfolgen, ſondern wenden uns von den Randſeen zu den Erſcheinungen im Innern des Gebirges.

Auch da ſollte man zahlreiche Seen erwarten, denn auch in den inneren Teilen der Hauptthäler hatten die Gletſcher Gelegenheit, ihre flachmuldige Eroſion zu bethätigen. In Wirklichkeit aber findet man dort keine oder nur vereinzelte Seen, und erſt wenn die höchſten Teile der Thäler erreicht ſind, trifft man von neuem ſtille kleine Waſſerbecken an, die ſogenannten Hochſeen. Dieſer Mangel iſt aber nur ein ſcheinbarer: die Seen im Thallauf waren einſt vorhanden, heute aber ſind ſie durch die Thätigkeit der Flüſſe vernichtet, die die Becken mit Schlamm und Geſchieben erfüllt, am unteren Ende aber Rinnen eingenagt und das geſtaute Waſſer zum Ausfluß gebracht haben. An Stelle der ehemaligen Seen findet man heute in vielen Alpenthälern geleerte Becken oder Torfmoore, während ſie einſtmals einen ähnlichen Anblick dargeboten haben müſſen wie heute manche Thalſtrecken Norwegens, die an Stelle eines Fluſſes von einer Reihe langgezogener Seen mit dazwiſchen befindlichen kurzen Stromſchnellen und Kaskaden eingenommen werden. Wie raſch dieſes Zerſtörungswerk vor ſich geht, erhellt aus dem Umſtande, daß allein auf tiroliſchem Gebiet, wie ein Vergleich der alten mit den heutigen Karten zeigt, innerhalb der letzten hundert Jahre nicht weniger als 118 Seen vollſtändig „erloſchen" ſind und andere beträchtlich an Umfang verloren haben.

Daß nun gerade die Thalſeen vernichtet wurden, erklärt ſich ſehr einfach: die Randſeen waren zu groß, als daß ſie in der Zeit nach dem Rückzuge der Gletſcher hätten ausgefüllt werden können, und zur Zerſtörung der Hochſeen hat das Waſſer noch nicht Zeit gefunden. Die unteren Strecken der Gletſcherbetten wurden früher eisfrei als die oberen, und daher war auch die Ausfüllung und Anzapfung der unteren Seebecken früher vollendet. Deshalb treffen wir die Hochſeen am häufigſten in der unmittelbaren Nähe der Gletſcher, oder dort, wo heute keine Gletſcher mehr beſtehen, wie in der Tatra, in den höchſten Thalzweigen, unmittelbar am Fuße der Bergkämme. In den nicht vergletſchert geweſenen Gebirgen fehlen die Hochſeen beinahe gänzlich; in keinem Gebirge aber iſt der Zuſammenhang dieſer Erſcheinungen deutlicher, als in der Tatra: in Thälern, die Seen enthalten, und wären es auch nur die kleinſten Lachen, gibt es auch ſtets eiszeitliche Moränen; wo dagegen die Seen fehlen, findet man auch nicht die geringſte Spur von Moränen.

Aber noch eine andere Oberflächenerſcheinung iſt für die ehemals vergletſcherten Thäler bezeichnend, die Kare oder Thalzirkuſſe. Die oberſten Enden ſolcher Thäler haben eine eigentümliche Keſſelform. Die Bergwände fallen ſteil zum Becken ab, deſſen napfförmig geſtalteter Boden einen oder mehrere kleine Seen trägt. Meiſt wiederholt ſich die Karbildung mehrmals hinter- und übereinander, wobei jeder einzelne Karboden von dem tieferliegenden oder der Thalſohle durch einen Steilabfall getrennt iſt (ſ. Abbildung, S. 567). Nur da, wo Gletſcher vorhanden waren, ſind echte Kare entſtanden; in den nicht vergletſchert geweſenen Thälern zeigen die Thalanfänge die Trichterform, ohne den runden, flachen Boden der Kare. In ſchroffer Weiſe ſpricht ſich der Gegenſatz zwiſchen den muldenförmigen Karböden und den dazwiſchenliegenden Steilſtufen aus, aber gerade dieſe eigentümliche Geſtaltung ſcheint durch die Art der Gletſchereroſion mitbedingt zu

VERGLETSCHERUNG DES TEGERNSEE-GEBIETES WÄHREND DER EISZEIT.



Bibliogr. Institut in Leipzig.

sein. Wenn nämlich ein Gletscher über eine Thalstufe herabsteigt, so schleift er zunächst den Oberrand der Stufe ab. Von da nach abwärts muß mit zunehmender Tiefe auch sein Gefälle und seine erodierende Kraft zunehmen; am stärksten natürlich am Fuße des Steilhanges beim Übergang in die sanfter geneigte Strecke. Hier muß eine förmliche Auskolkung (s. S. 480) stattfinden, und deshalb haben auch die Hochseen, soweit es Felswannen sind, eine im Verhältnis zu ihrer Ausdehnung größere Tiefe als die Randseen. Vielfach sind an ihnen die Spuren der Eisausschleifung noch ganz frisch und unverkennbar erhalten, die Rundhöckerbildung tritt oft noch auffallend hervor, und manche dieser Hochseen sind nichts anderes als mit Wasser erfüllte Mulden zwischen größeren

Der Fischsee in der Hohen Tatra. Vgl. Text, S. 566.

Rundhöckern. Ein vorzügliches Beispiel dieser Art ist z. B. einer der kleinen Seen, die unter dem Velber Tauern liegen, nahe dem Wege von diesem nach Mittersill im Pinzgau, und ein ganz ähnlicher Fall wird von Geikie aus den schottischen Hochlanden mitgeteilt (s. Abbildung, S. 568).

Nicht alle Hochseen sind übrigens durch Ausschleifung entstanden; manche sind einfach durch Bergstürze oder Schuttkegel abgedämmt, während bei anderen Moränenwälle als Dämme dienen. In der Tatra z. B. sind einige der schönsten sogenannten Meeraugen, wie der große Fischsee, von bogenförmigen Stirnmoränen, und zwar Rückzugsmoränen, eingerahmt (s. obenstehende Abbildung). Andere Hochseen erfüllen die flachen Vertiefungen, die durch ungleichmäßige Ablagerung der Grundmoränen entstehen. Denn sowie Gletscher nicht überall erodierend wirken, so ist auch die Anhäufung der Grundmoräne keine gleichmäßige. Seen dieser Art sind es namentlich, die den alten Inlandeisboden Norddeutschlands bedecken. Unregelmäßig und wellig wie die Grundmoräne unter dem Eise abgelagert wurde, hat sie sich in ihren Hauptzügen bis auf unsere Tage erhalten; in den ursprünglichen Einsenkungen hat sich das Niederschlagswasser gesammelt

und die zu- und abflußloſen Grundmoränenſeen gebildet. Andere Waſſerſpiegel ſind durch Endmoränenzüge geſtaut worden, und wieder andere, die ſogenannten Rinnenſeen, mögen durch die Eroſion des nach Süden abfließenden Schmelzwaſſers, vielleicht auch durch deſſen wirbelnde und kolkende Thätigkeit gebildet worden ſein.

Die Erſcheinungen, die wir in den Alpen und in Norddeutſchland kennen gelernt haben, wiederholen ſich in allen ehedem vergletſcherten Gebieten, in Skandinavien, in Schottland, in den Pyrenäen, in Nordamerika, Patagonien, Neuſeeland ꝛc.; überall zeigt die Oberfläche gewiſſe Hauptzüge des Reliefs, Hochſeen und Kare in den Gebirgen, große Randſeen in den Thälern und am Fuße der Gebirge, Fjorde an den Küſten. Dies iſt wohl nur erklärbar, wenn man

Rundhöckerlandſchaft mit ausgeſchliffenem Seebecken aus den ſchottiſchen Hochlanden. (Nach Geikie.)
Vgl. Text, S. 567.

annimmt, daß Gletſcher in beſtimmter Richtung geſtaltend auf das Land einwirken. Die Eroſion der Gletſcher iſt von der des fließenden Waſſers verſchieden: der Gletſcher ſchabt an der ganzen Breite ſeiner Sohle und erweitert das vorhandene Thal, der Fluß ſägt entlang einer Linie und trachtet ſein Bett zu vertiefen. Die Gletſcher zeigen die Tendenz, eine von Natur aus angedeutete Stufenbildung der Hochthäler noch ſchärfer zum Ausdruck zu bringen, während das fließende Waſſer im Gegenteil darauf ausgeht, die Stufen auszugleichen und ein gleichmäßiges Gefälle zu ſchaffen. Gletſcher ſind nicht im ſtande, ſelbſt Thäler zu ſchaffen, wie das Waſſer, ſondern ſie benutzen vorhandene Betten. In welchem Grade und in welcher Art ſie nun auf dieſe einwirken, das hängt weſentlich von der vorhandenen Prädispoſition ab. So muß auch die Ausfurchung von Becken vorwiegend an ſolchen Stellen eintreten, die hierfür günſtige Bedingungen darbieten. In manchen Fällen mag ſich die eroſive Thätigkeit der Gletſcher auch nur auf eine Ausräumung ſchon vorhandener und von Geſchieben oder anderen lockeren Bildungen erfüllter Becken beſchränkt haben.

Haben sich so unsere Anschauungen über die Bedeutung der Gletschererosion in neuerer Zeit in manchen Punkten wesentlich geklärt, so dürfen wir doch nicht verschweigen, daß gar manche Frage noch ihrer endgültigen Lösung harrt. So besitzen wir z. B. noch gar keine Anhaltspunkte über die Geschwindigkeit der glazialen Abtragung; wir befinden uns in dieser Hinsicht erst im Stadium des ersten Versuches, den A. Baltzer unternommen hat, indem er in den Boden des Grindelwaldgletschers an 14 Stellen Bohrlöcher treiben ließ, die genau gemessen und bis zum Mundloch mit farbigem Gips, Thon und Zement ausgefüllt wurden. Beim nächsten Vorstoß wird der Gletscher diese Stellen überziehen und durch längere Zeit, nach unseren bisherigen Erfahrungen vielleicht durch $1^1/_2$—2 Jahrzehnte, behaupten. Wenn er sich dann wieder zurückgezogen haben wird, wird eine genaue Nachmessung der Bohrlochtiefen wichtige Beiträge für die Frage nach der Größe der Gletschererosion liefern.

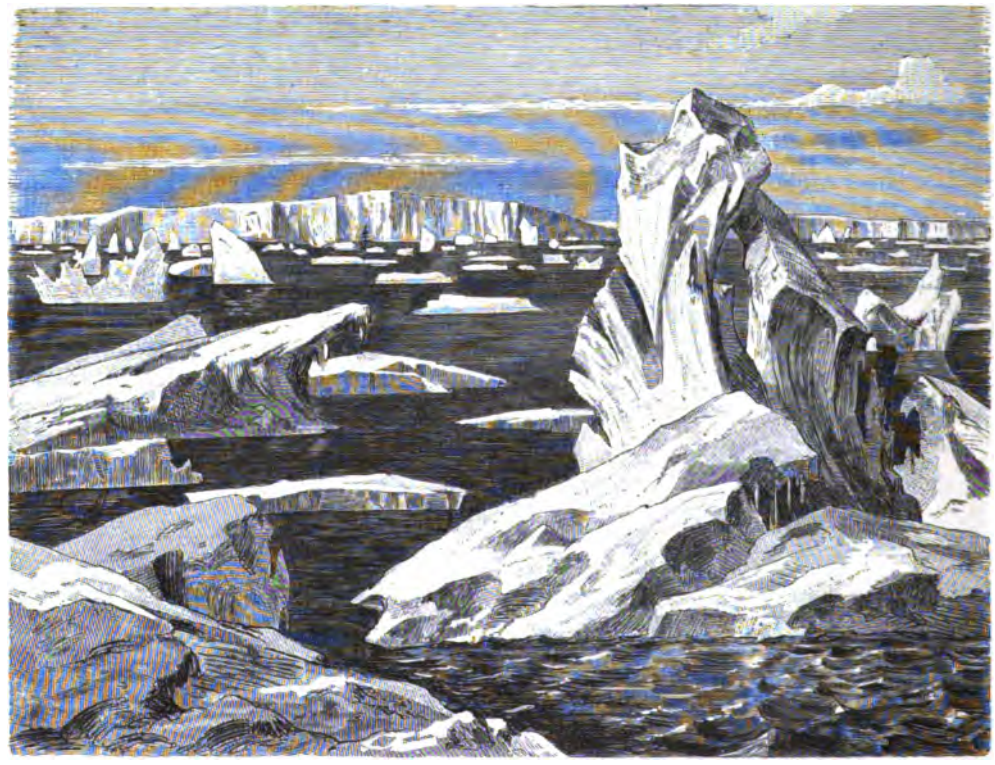
Eine andere noch ungelöste Frage bildet die Entstehung der alpinen Randseen. Wir haben schon der Schwierigkeiten gedacht, denen die Annahme des glazialerosiven Ursprungs dieser Becken in den Verhältnissen des Schliersees begegnet. Auch die Erscheinungen am Genfer See sind in dieser Richtung wenig günstig. Natürlich mußte dies zu anderen Erklärungsversuchen anregen, und zwar hat man namentlich zu *Senkungen* einzelner Strecken, wie beim Genfer See, oder zu verschiedenen anderen tektonischen Vorgängen, wie beim Gardasee, seine Zuflucht genommen.

Weitaus die bedeutsamste und am besten gestützte Auffassung dieser Art verdanken wir A. Heim. Es hat sich gezeigt, daß sich an den Gehängen der Schweizer Randseen, besonders des Züricher Sees, beiderseits Terrassensysteme vorfinden, und daß sich Terrassen auch *unter das Wasser hinab* fortsetzen. Dies läßt wohl darauf schließen, daß nicht nur die über, sondern auch die unter der Seefläche liegenden Thalgehänge einst durch Flüsse ausgefurcht, später aber unter Wasser oder unter Geschiebeausfüllung tief versenkt worden sind. Ferner ist mit Bestimmtheit nachgewiesen worden, daß die Seeböden ein alpenwärts gerichtetes, aber allmählich auslaufendes Gefälle haben, und daß ebenso auch die Flußterrassen in der Molassezone, am Außenrande der Schweizer Alpen mit 3—4° alpenwärts geneigt sind. Wenn nach Vollendung der Alpenfaltung die Erosion der Thäler vor sich gegangen, nachher das *Alpengebirge als Ganzes gesunken*, das Vorland aber stehen geblieben ist, so mußten natürlich die Hauptthäler im Inneren des Gebirges von ihrem Abfluß nach außen abgeschnitten werden; an der Grenze des gesunkenen gegen das stehen gebliebene Gebiet mußten sich Seen bilden, und die Terrassen in dem Streifen des Außenrandes, der durch die Bewegung der Gebirgsmasse mit hinab verbogen wurde, mußten ein rückläufiges, alpenwärts gerichtetes Gefälle annehmen. Diese Senkung, die in der That geeignet ist, die merkwürdigen Erscheinungen der Schweizer Randseen zu erklären, wird von Heim in die älteste Episode der Eiszeit verlegt; die Randmoränen der zweiten und dritten Vergletscherung laufen mit regelmäßigem Gefälle thalauswärts, was darauf schließen läßt, daß die Seebecken beim zweiten und dritten Vorrücken der eiszeitlichen Gletscher bereits vorhanden waren.

Offenbar sind diese Erscheinungen nicht nur für die Frage der Glazialerosion, sondern auch für die weit wichtigere Lehre von den kontinentalen Senkungen und Hebungen von großer Bedeutung. Wenn die Verhältnisse in der Schweiz richtig gedeutet sind, dann wird man entsprechende Erscheinungen ringsum im Umkreise der Alpen nachweisen müssen. Es werden also sehr eingehende und ausgebreitete Untersuchungen notwendig sein, um an Stelle der Widersprüche eine sichere Grundlage zu schaffen. Die Natur freilich enthält keinen Widerspruch, nur wir tragen ihn in die Betrachtung der Erscheinungen hinein, sobald wir an die Lösung eines verwickelten Problems ohne eine hinreichende Menge von Beobachtungen herantreten. Diese sind es also vor allem, von denen wir die Aufhellung dieser interessanten und bedeutungsvollen Fragen erwarten müssen.

Eisberge.

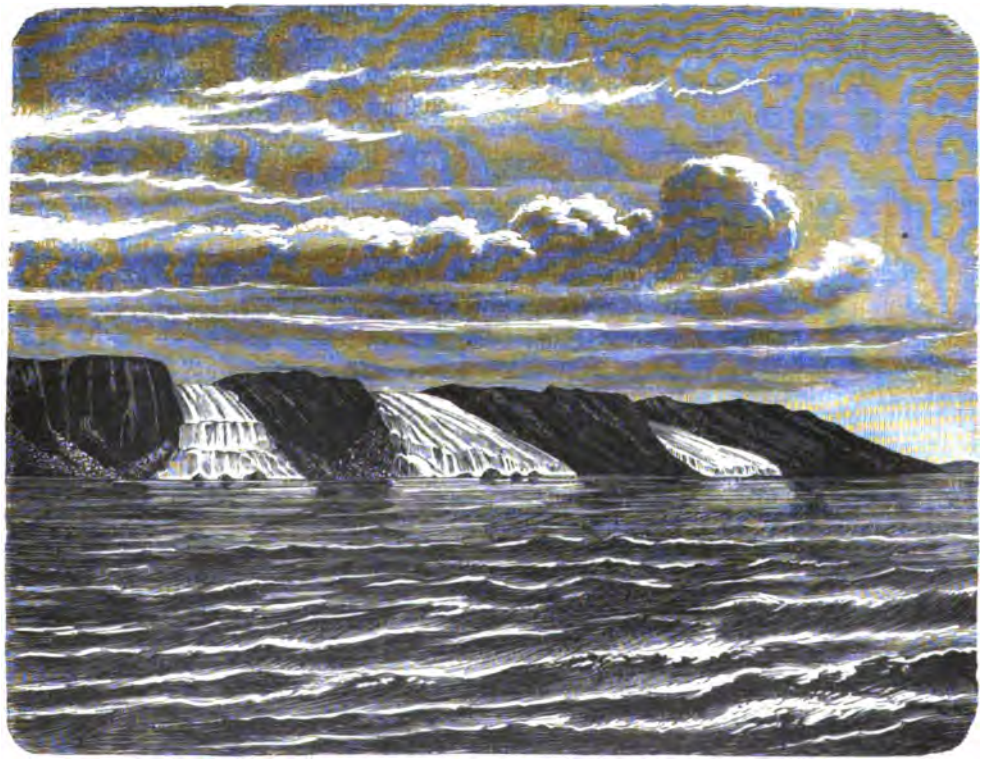
Wir haben bei der Beſprechung des grönländiſchen Inlandeiſes erwähnt, daß manche Gletſcher in den Eisfjorden ſo weit in das Meer vorgeſchoben werden, daß die zuſammenhängende Eismaſſe zerbricht und die einzelnen Stücke als Eisberge davonſchwimmen. Dieſer Vorgang, den die Nordfahrer das „Kalben" der Gletſcher nennen, wiederholt ſich natürlich auch in anderen vergletſcherten Gebieten der arktiſchen und antarktiſchen Region (ſ. Abbild., S. 571, unten). Die Urſache des Kalbens der Gletſcher iſt in erſter Linie der Auftrieb des Waſſers, der in Wirkſamkeit



Eisberge. (Nach Geikie.) Vgl. Text, S. 572.

tritt, ſobald der Gletſcher nicht mehr den Boden berührt und die Tiefe des Meeres ſchon das Schwimmen des Eiſes verlangt. Manche Gletſcher löſen ſich vorwiegend in kleinere Eisberge und Kalbeis auf (ſ. Abbild., S. 571, oben), während andere Eisberge von rieſenhafter Größe entſtehen laſſen. An der Weſtküſte Grönlands kommen Eisberge vor, deren Höhe über dem Meere 60, in Ausnahmefällen ſelbſt 110 m beträgt. Da aber infolge des geringen ſpezifiſchen Gewichtes des Eiſes nur ein kleiner Teil der Geſamthöhe eines Eisberges über dem Meeresſpiegel ſichtbar, der größere Teil im Meere untergetaucht iſt (ſ. Abbildung, S. 572), ſo können wir aus dieſen Vorkommniſſen einen Schluß ziehen auf die außerordentliche Mächtigkeit des Inlandeiſes, wie auch auf die Größe der Eismaſſen, die als Eisberge aus den arktiſchen Gebieten in wärmere Gegenden wandern. Eisberge mit einem Inhalt von 16 bis 20 Millionen Kubikmeter ſind keine Seltenheit, ja es gibt ſelbſt Rieſen von 27 Millionen Kubikmeter. Dieſe gewaltigen Maſſen reißen ſich unter furchtbarem Krachen vom Körper des Gletſchers los, eine Staubwolke von Eis

Kalbeis in der Bucht Tasiusarsoak in Grönland. (Nach Nordenskiöld.) Vgl. Text, S. 570.



Ins Meer auslaufende Gletscher von Jan Mayen. (Nach dem Werke der norwegischen Polarexpedition.) Vgl. Text, S. 570.

und Waſſer wird in die Höhe geſchleudert, ein rieſiges Eisſtück wälzt ſich vom Rande weg, turmhohe Teile trennen ſich ab und löſen ſich im Falle in kleine Brocken auf. Das Kalben der Gletſcher erfolgt in ganz unbeſtimmten, von verſchiedenen Urſachen abhängigen Zeiten; man hat berechnet, daß einer der aktivſten Gletſcher Grönlands, der von Jakobshavn, ſo viel Eis vorſchiebt, daß hieraus täglich ein großer Eisberg entſtehen könnte. Beim Muirgletſcher in Alaska geſchieht die Ablöſung der Eisberge ebenfalls in unregelmäßigen Zwiſchenräumen, die bald etwa 5 Minuten, bald eine Stunde betragen können.

Was den Eisbergen ein großes geologiſches Intereſſe verleiht, iſt der Umſtand, daß ſie auch als Flöße dienen, auf denen Steine, Sand und Schlamm ſchwimmend über das Meer transportiert werden können. Es iſt bekannt, daß ſie oft weit in gemäßigte Breiten vordringen, ehe ſie vom warmen Waſſer und der warmen Luft vollſtändig geſchmolzen werden. Oft genug begegnen die zwiſchen Europa und Amerika verkehrenden Schiffe grönländiſchen Eisbergen; vom Südpol her dringen Eisberge z. B. im Atlantiſchen Ozean bis zur Kapſtadt und in die Nähe der La Plata-Mündung vor. Beim Abſchmelzen fallen die Geſteinsſtücke der Eisberge zu Boden und werden im Meeresſediment eingeſchloſſen. Es entſtehen auf dieſe Weiſe Meeresablagerungen von ſehr eigentümlichem Charakter, die dadurch ausgezeichnet ſind, daß ein beliebiges, meiſt ſehr feinkörniges Geſtein, Kalk, Sandſtein, Thon oder Schieferthon, einzelne größere und kleinere Trümmer einer vollſtändig fremdartigen Felsart enthält.

Schema eines ſchwimmenden Eisberges, welches das Verhältnis der untergetauchten zu der über das Waſſer hervorragenden Partie zeigt. Vgl. Text, S. 570.

Als eine Gegend, wo derartige Ablagerungen große Ausdehnung und Mächtigkeit erlangen, hat man früher die Neufundlandsbank betrachtet, eine 125,000 qkm große und aus 2600 m tiefem Meere ſich erhebende Untiefe von 200 m, deren Boden ganz mit loſen Blöcken bedeckt iſt. Es hat ſich aber gezeigt, daß dieſe nicht nordiſcher Herkunft ſind, ſondern vom benachbarten Feſtlande ſtammen. Nichtsdeſtoweniger verdient der Blocktransport durch Eisberge unſere Aufmerkſamkeit: mancher fremdartige Geſteinseinſchluß in thonigen und ſandigen Schichten älterer Formationen mag in dieſer Weiſe aus fernem Lande gekommen und weit von ſeiner Heimat abgelagert worden ſein.

Es iſt notwendig, hier vor einer naheliegenden und ſehr häufig vorkommenden Verwechſelung zwiſchen den verſchiedenen Arten des im Meere treibenden Eiſes zu warnen: abgeſehen von dem ſtets nur in ſehr geringer Menge vorhandenen harten und klaren Süßwaſſereis, das aus Flüſſen ſtammt, ſind zwei verſchiedene Arten von Eis vorhanden, das Gletſchereis der Eisberge (ſ. Abbildung, S. 570) und das Salzwaſſereis, das durch das Gefrieren von Meerwaſſer entſteht und weitaus die größte Rolle in den Polarregionen ſpielt. Es bildet die Eisfelder, die durch geringere Eisdicke und ebene Beſchaffenheit ausgezeichnet ſind, wenigſtens im erſten Jahre ihres Beſtehens. Wird das Meerwaſſereis älter, überwintert es ein oder mehrere Male, dann unterliegt es eigentümlichen Veränderungen. Namentlich bei Gelegenheit der öſterreichiſchen Polarexpedition unter Weyprecht und Payer, die zwei Winter von ſolchen Maſſen eingeſchloſſen zubrachten, wurden dieſe Veränderungen genau beobachtet und eingehend beſchrieben. Während des Winters werden die Eistrümmer und Felder in eigentümlicher Weiſe gegeneinander gedrängt, überſchoben, zerbrochen, wieder miteinander verbunden, und ſo entſtehen die Packeismaſſen, die ſo oft ſchon den kühnen Unternehmungen vordringender Polarexpeditionen ein gebieteriſches Halt entgegengerufen haben.

Durch das Meerwassereis wird nicht oder nur ausnahmsweise Gesteintransport veranlaßt, anders ist es bei dem Eise von Flüssen, die bisweilen aus den Regionen ihres Oberlaufes gewaltige Felsblöcke mit sich bringen. Nach Lyell ist dies namentlich am St. Lorenzstrom in Kanada in großartigstem Maßstabe der Fall.

Wirkung des Windes.

Wasser ist weitaus der mächtigste Faktor der Denudation und des Transports von festem Material, in einem Maße, daß in Gebieten, in denen es seine volle Thätigkeit entwickelt, die Wirksamkeit der übrigen Kräfte daneben in den Hintergrund tritt. Trotzdem dürfen wir diese letzteren nicht unberücksichtigt lassen und müssen namentlich die Bedeutung der Winde etwas näher ins Auge fassen. Gröberes oder fest zusammenhängendes Gesteinsmaterial können die Luftströmungen allerdings in der Regel weder unmittelbar zerstören, noch fortbewegen, aber Staub und Sand unterliegen der Einwirkung des Windes.

Die bekannteste Wirkung des Windes ist der Transport des Flugsandes und dessen Aufhäufung zu Dünen. Diese Vorgänge finden überall statt, wo der Wind über Flächen von losem, unzusammenhängendem Sande hinstreicht, der durch keine Vegetation zusammengehalten wird. Mit großer Intensität findet die Dünenbildung an der Meeresküste statt, wo bei Ebbe weite Strecken von losem Sande bloßgelegt werden und der Wind mit besonderer Stärke weht; aber sie tritt auch im Binnenlande ein und erreicht namentlich in den Wüstengebieten eine ausgezeichnete Entwickelung.

Die Art und Weise der Dünenbildung ist sehr einfach und leichtverständlich. Würde der Sand über eine ganz vollkommene Ebene getrieben, in der ihm keinerlei Hindernis entgegenstände, so würde er sich gleichmäßig ausbreiten; wo aber ein solches Hindernis vorhanden ist, da fällt er in größerer Menge nieder; man braucht bloß eine Reihe von Pflöcken senkrecht zur Windrichtung an einer Küstenstrecke einzuschlagen, an der der Sand treibt, und man kann die Bildung einer Düne künstlich bewirken. Die Sandkörner bleiben vor den Pflöcken liegen und bilden hier eine sehr sanft ansteigende Böschung, während andere unmittelbar hinter den Pflöcken auf deren Leeseite niederfallen und sich hier unter steilerem Winkel ansammeln. In der Natur bilden Steine, Pflanzenwuchs und ähnliche Körper das Hindernis, das den ersten Anstoß zur Dünenbildung gibt. Bald ist das erste Hindernis vom Sande ganz bedeckt, aber nun bildet die Anhäufung des Sandes die Barriere, an der sich die Düne immer mehr vergrößert. Auf diese Weise bilden sich auf dem Boden mehr oder weniger gleichlaufende Linien oder Ketten von Sandhügeln. Diese bleiben jedoch nicht immer auf derselben Stelle; wenn sie eine gewisse Höhe überschreiten, trägt der Wind keine neuen Körner mehr über sie weg, die vordere Böschung wird dann durch das Anblasen neuen Sandes immer sanfter, während der Kamm nach rückwärts hinuntergeweht wird, der Wind trägt wieder neuen Sand in die Höhe, es bildet sich ein neuer Kamm, der etwas weiter nach vorn liegt als der ursprüngliche, und so wandern die Dünen fortwährend, wenn auch langsam, der herrschenden Windrichtung entsprechend, landeinwärts.

Die Höhe, Ausdehnung und Form der einzelnen Dünenzüge ist je nach den örtlichen Bedingungen sehr verschieden. In der Sahara sollen einzelne die enorme Höhe von 200 m erreichen und zu Zügen von 70 bis 80 km Länge angeordnet sein. Gewöhnlich wird eine so gewaltige Höhe bei weitem nicht erreicht; selbst in der Libyschen Wüste, die doch durch ihren besonderen Sandreichtum ausgezeichnet ist, findet man keine Dünen, die die Höhe von 100 m überschritten, während die Mehrzahl davon etwa 20—30 m messen mag. Die Küstendünen erheben sich am

Mittelmeergeſtade in Frankreich nirgends über 6—7 m, während ſie in der Gascogne 90 m erreichen und in der Kuriſchen Nehrung bis zu 70 m anſteigen. Die Mehrzahl der Dünen zeigt die Form langgeſtreckter paralleler Kämme, die nur wenig von einer geraden Linie abweichen. In den nordafrikaniſchen Wüſten iſt dieſe Dünenform die vorherrſchende, daneben finden ſich aber auch iſolierte rundliche Sandhügel und bogenförmig gekrümmte Dünen. Die letztere Form iſt am häufigſten und reinſten in Turkeſtan ausgebildet.

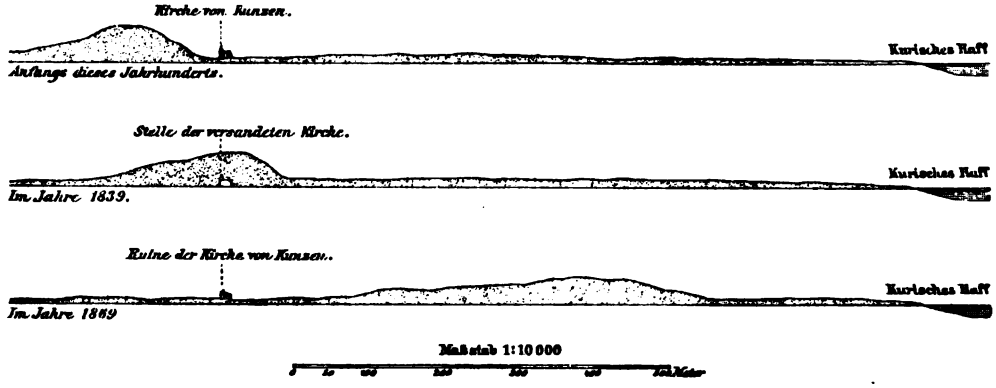
Durch ihre Verſchiebung und Wanderung gegen das Inland werden die Dünen in hohem Grade ſchädlich. Es macht ſich das namentlich an ſolchen Küſtenſtrecken bemerkbar, wo in neuerer Zeit die bisher vorhandenen, die Dünenbildung wirkſam verhindernden Waldbeſtände geſchlagen worden ſind. Mit Recht ſetzt man jetzt alles daran, durch Wiederbelebung der Vegetation die Dünen zu „binden". Eine Maßregel beſteht darin, daß durch Anlage künſtlicher Hinderniſſe unmittelbar am Ufer eine neue Bildung von Sandanhäufungen erzielt und durch dieſe „Vordüne" den weiter landeinwärts gelegenen Hauptdünen die Zufuhr von neuem Sande abgeſchnitten wird. Die hinter der Vordüne gelegene Fläche wird dann mit Gräſern und anderen Pflanzen beſäet, die auch auf dem elendeſten Sandboden gedeihen; es bildet ſich nun eine Grasnarbe, es beginnt die Humusbildung, die die Anpflanzung von Föhrenbeſtänden ꝛc. geſtattet. Von dieſen in der Fläche gelegenen Kulturen aus wird der Angriff auf die eigentlichen Dünenhügel unternommen, indem man auch ihre Gehänge mit Vegetation zu überkleiden und auf dieſe Weiſe der Bewegung Herr zu werden ſucht.

In vielen Gegenden kann man die verderblichen Wirkungen der wandernden Dünen beobachten, ſehr deutlich z. B. auf der Nehrung des Kuriſchen Haffs. Dort bewegt ſich quer über die ſchmale, 11 Meilen lange Landzunge ihrer ganzen Ausdehnung nach eine gedehnte, hohe und breite Dünenkette, die, wie erwähnt, in einzelnen ihrer Gipfel bis zu 70 m Höhe anſteigt. Ihr durchſchnittliches Vorrücken wird auf faſt 6 m im Jahre berechnet, und unaufhaltſam begräbt ſie vereinzelte Waldbeſtände, Dörfer, Felder unter ihren Sandmaſſen. Die Bewohner ſind gezwungen, ihre Wohnungen zu verlaſſen und ſich an anderen Orten anzuſiedeln, wo ſie nach einiger Zeit die unerbittlich nachfolgende Düne wieder erreicht. Aigetta, Negeln, Karwaiten ſind auf dieſe Weiſe verſchwunden, Pillkoppen wurde beim Herannahen des Sandes aufgegeben, und an einem anderen Orte wurde ein neues Pillkoppen gegründet, das auch ſchon verſchüttet iſt, und die abermals vertriebene Einwohnerſchaft bewohnt nun ſchon das dritte Pillkoppen, das ebenfalls ſchon wieder nahe daran iſt, im Sande unterzugehen. Dasſelbe Schickſal bedroht alle Ortſchaften auf der Haffſeite der Nehrung, ausgenommen iſt nur Sarkau im ſüdlichſten Teile der Nehrung, wo die Dünen ſehr niedrig ſind, und es iſt ſehr zweifelhaft, ob ihre Rettung durch Bindung der Dünen gelingen wird. Aber nicht dauernd bleiben die verſchütteten Ortſchaften begraben, nach einer Reihe von Jahren hat die Düne die Stelle paſſiert und läßt die Ruinen wieder aus niedrigem Sande hervorragen. Die Abbildungen auf S. 575 zeigen uns dieſen Fall an dem Dorfe Kunzen: im Anfange des Jahrhunderts wurde das Dorf von der Düne erreicht, in den nächſten Jahrzehnten war es ganz davon bedeckt, ſeit einiger Zeit aber ſind die Ruinen der Kirche wieder auf der Windſeite des Sandberges zum Vorſchein gekommen. Endlich wird der Dünenzug die ganze Nehrung überſchritten haben und ſeine Sandmaſſen werden in das Haff geweht werden. Schon jetzt ſchreitet infolge dieſes Vorganges die Haffküſte der Nehrung vorwärts, und in wahrſcheinlich 200, höchſtens 550 Jahren wird die ganze Düne ins Haff gefallen und durch die große Sandmaſſe das ſeichte Becken, wenigſtes in ſeinem nordöſtlichen Teile, ganz verlandet ſein.

Ganz ähnliche Verhältniſſe herrſchen auf Sylt. „Der Dünenſand auf Sylt fliegt ins Land hinein und die ganze Dünenkette iſt in einer fortwährenden Wanderung begriffen. Im Jahre 1757 wurde die Kirche des Dorfes Rantum abgebrochen, weil die Dünenkette ſie erreicht hatte.

Im Jahre 1791 oder 1792 war die ganze Dünenkette über die Ruinen der Kirche weggeschritten, sie lagen vom Sande befreit am Ufer des Meeres und wurden bald verschlungen; die Stelle, wo sie damals lag, ist jetzt (1841), kaum 50 Jahre später, gegen 700 Fuß vom Ufer entfernt, und das Meer hat dort eine Tiefe von 12 Fuß. Die zweite Kirche von Rantum ist auch schon längst unter den Dünen verschwunden; dasselbe ist der Fall mit dem Dorfe Niblum, von dem die letzten Spuren noch am Strande liegen." (Forchhammer.)

Nicht nur Quarzsand wird auf diese Weise fortgetrieben; auf manchen Koralleninseln spielt der feine Kalkdetritus dieselbe Rolle, und auf den Bermudasinseln werden die Dünen der Kultur in hohem Grade gefährlich und verderblich. Diese zusammengewehten Kalkmassen erhärten bei genügender Zirkulation von kohlensäurehaltigem Wasser zu einem sehr festen Kalk, der



Die Wanderung der Düne bei dem Dorfe Kunzen auf der Kurischen Nehrung. (Nach Behrendt.)
Vgl. Text, S. 574.

entsprechend dem Böschungswinkel, in stark geneigten Bänken geschichtet ist. Wie wir in dem nächsten Abschnitte sehen werden, trägt dieser Vorgang sehr wesentlich dazu bei, den obersten Kranz der Koralleninseln über das Meeresniveau ansteigen zu machen.

Von großer Bedeutung in geologischer Beziehung sind die Sand- und Staubstürme der Steppengegenden, die namentlich in neuerer Zeit größere Beachtung gefunden haben, nachdem F. von Richthofen die Bildung einer sehr wichtigen und verbreiteten Ablagerung, des sogenannten Löß, auf diesem Wege erklärt hatte. Es ist jedoch hier nicht der Ort, näher auf diesen interessanten Gegenstand einzugehen, dessen Besprechung im zweiten Bande bei Schilderung des Diluviums folgen wird. Auch die denudierende Wirkung des Windes werden wir nicht in diesem, sondern in dem folgenden, der Wüstenbildung gewidmeten Kapitel besprechen, denn nur die Wüsten geben ein zutreffendes Bild davon, was Winderosion vermag; es steht aber dieser Vorgang in so innigem Zusammenhang mit allen anderen Erscheinungen der Wüsten, daß eine gesonderte Betrachtung nicht möglich ist.

Wüstenbildung.

Nicht geologische, sondern vielmehr meteorologische Verhältnisse sind es, die ein Gebiet zur Wüste stempeln. Wo in einer Region trockene Winde so sehr vorherrschen, daß nur ein Minimum von Niederschlägen fällt, da treten Wüsten auf. Die Sahara verdankt ihre trostlose Beschaffenheit der Herrschaft nördlicher und nordöstlicher, vom Mittelmeer kommender Winde, die über dem

heißen Kontinent keine Wasserdämpfe zu verdichten vermögen. Das weite Wüstengebiet Zentralasiens, die Gobi, ist von hohen Gebirgswällen umgeben, an denen sich alle Feuchtigkeit niederschlägt, so daß die Winde ganz ausgetrocknet in die Niederung gelangen. Die Sahara, Arabien, ein großer Teil von Syrien, Mesopotamien und Persien bilden ein großes Wüstengebiet; nächst ihm kommt an Ausdehnung die zentralasiatische Wüste Gobi, neben der noch die Kalahari in Südafrika, die nordamerikanische Wüste östlich vom Felsengebirge, die Wüste Atacama auf der Grenze von Chile und Bolivia, endlich das Innere von Neuholland genannt sein mögen.

Wir wollen nur auf die Betrachtung der Sahara etwas näher eingehen, da sie alle Erscheinungen in der großartigsten Weise zeigt (s. die beigeheftete Tafel „Die östliche Sahara"). Das riesige Gebiet der Sahara erstreckt sich vom Atlantischen Ozean bis zum Nil und von der Nordgrenze des Sudân bis an den Atlas und das Mittelmeer über einen Flächenraum von 160,000 Quadratmeilen, ist also nicht viel kleiner als ganz Europa mit Ausschluß seiner Inseln. Lange Zeit hindurch machte man sich ziemlich allgemein von der Beschaffenheit dieser weiten Länderstrecke eine sehr falsche Vorstellung; man hielt die Sahara für eine gleichmäßige, nur von Dünenzügen unterbrochene Sandfläche, deren Boden beckenartig von allen Seiten gegen die Mitte abfalle, für eine Mulde mit allmählich ansteigenden Rändern, deren Inneres erheblich tiefer liege als der Meeresspiegel, und man dachte allen Ernstes, daß es nur der Anlage eines großen Kanales bedürfte, um den größten Teil der Sahara in einen Binnenozean zu verwandeln. Man glaubte auch vielfach an die Ausführbarkeit eines solchen Projektes und debattierte schon eifrig, welchen Einfluß eine solche Veränderung auf die Küstenländer des Mittelmeeres und auf das Klima von ganz Europa ausüben müßte; man fürchtete sich sogar schon vor dem Eintritt einer neuen Eiszeit, wenn die warmen Wüstenwinde unsere Gegenden nicht mehr erreichten.

Diese Meinungen sind aber irrig. Die Wüstenwinde erreichen unsere Gegenden nicht und spenden uns keine Wärme, und die Sahara ist kein vertieftes Becken, das man unter Wasser setzen kann, denn nur ganz beschränkte Striche südlich von Tunis und in der Umgebung der Ammonsoase liegen etwas tiefer als der Meeresspiegel.

In Wirklichkeit ist die Sahara ein Gebiet von großer landschaftlicher Mannigfaltigkeit; mächtige Hochgebirge mit Gipfeln bis zu 2500 m Höhe, steinige Hochebenen, Dünenregionen, Becken mit lehmigem Boden und salzigen Seen und Sümpfen, fruchtbare Oasengebiete wechseln miteinander ab. Dagegen ist ihr geologischer Bau überaus einfach: horizontal gelagerte Schichttafeln bilden nahezu ausschließlich das Material, zu dem nur in wenigen Gegenden, in den Hochgebirgen von Ahaggar und Tibesti, Eruptivgesteine hinzukommen. Die Sahara baut sich aus lauter terrassenförmig übereinander aufsteigenden Ebenen auf, deren Decken von den Schichtflächen, deren abfallende Ränder von den Schichtköpfen gebildet sind, und selbst die bedeutenden Gebirge bestehen, soweit die Nachrichten reichen, der Hauptsache nach aus enger sich zusammendrängenden Terrassenstufen. Der Flugsand ist die jüngste Bildung, die weiten Strecken ganz fehlt, an anderen dagegen in so mächtigen Massen angehäuft ist, daß er den Terrassenbau des Grundgebirges verhüllt. Von den wichtigsten Terrainformen der Sahara ist in erster Linie die Hammâda zu nennen, die Steinwüste, in der die Grundzüge des geologischen Baues am klarsten hervortreten; eine und dieselbe Schichtfläche bildet auf weite Strecken hin den ebenen Boden, der aus hartem Fels oder festem Lehm besteht. Die unabsehbare Fläche ohne Wasser und Vegetation ist mit Blöcken, Trümmern und Splittern von Gestein bedeckt, oder statt ihrer treten in der als Serir bezeichneten Wüstenform zahllose kleine, gleichmäßige und abgerundete Steinchen auf. Tagelang dauert die Wanderung über eine solche Hammâdafläche, bis man endlich in der Ferne einen steilen Absturz gewahrt, der sich geradlinig hinzieht; es ist eine neue Terrassenstufe, ein Schichtkopf, über den man hinansteigt, um darüber wieder die gleiche

DIE ÖSTLICHE SAHARA.

(Nach der Natur.)

heißen Kontinent keine Wasserdampfe zu verdichten vermögen. Das weite Wüstengebiet Zentralasiens, die Gobi, ist von hohen [illegible] umgeben, an denen sich alle Feuchtigkeit niederschlägt, so daß die Winde [illegible] in die Niederung gelangen. Die Sahara, Arabien, ein großer Teil von Syrien, [illegible] bilden ein großes Wüstengebiet; nächst ihm kommt an Ausdehnung [illegible] Wüste Gobi, neben der noch die Kalahari in Südafrika, die [illegible] vom Felsengebirge, die Wüste Atacama auf der Grenze von Chile und [illegible] das Innere von Neuholland genannt sein mögen.

Wir wollen [illegible] der Sahara etwas näher eingehen, da sie alle Erscheinungen [illegible] zeigt (s. die beigeheftete Tafel „Die östliche Sahara“). Das [illegible] erstreckt sich vom Atlantischen Ozean bis zum Nil und von der [illegible] an den Atlas und das Mittelmeer über einen Flächenraum von [illegible] ist also nicht viel kleiner als ganz Europa mit Ausschluß seiner Inseln. Lange Zeit hindurch machte man sich ziemlich allgemein von der Beschaffenheit dieser weiten Ländérstrecke eine sehr falsche Vorstellung; man hielt die Sahara für eine gleichmäßige, nur von Dünenzügen unterbrochene Sandfläche, deren Boden beckenartig von allen Seiten gegen die Mitte abfalle, für eine Mulde mit allmählich ansteigenden Rändern, deren Inneres erheblich tiefer liege als der Meeresspiegel, und man dachte allen Ernstes, daß es nur der Anlage eines großen Kanales bedürfe, um den größten Teil der Sahara in einen Binnenozean zu verwandeln. Man glaubte auch vielfach an die Ausführbarkeit eines solchen Projektes und debattierte schon eifrig, welchen Einfluß eine solche Veränderung auf die Küstenländer des Mittelmeeres und auf das Klima von ganz Europa ausüben müßte; man fürchtete sich sogar schon vor dem Eintritt einer neuen Eiszeit, wenn die warmen Wüstenwinde unsere Gegenden nicht mehr erreichten.

[illegible] Die Wüstenwinde erreichen unsere Gegenden nicht und [illegible] die Sahara ist kein vertieftes Becken, das man unter Wasser [illegible] Striche südlich von Tunis und in der Umgebung der [illegible] der Meeresspiegel.

[illegible] die Sahara ein Gebiet von großer landschaftlicher Mannigfal[tigkeit] [illegible] Gebirge mit Gipfeln bis zu 2500 m Höhe, steinige Hochebenen, Dünen[illegible] mit lehmigem Boden und salzigen Seen und Sümpfen, fruchtbare Oasengebiete [illegible] einander ab. Dagegen ist ihr geologischer Bau überaus einfach: horizontal gelagerte [illegible] bilden nahezu ausschließlich das Material, zu dem nur in wenigen Gegenden, in den Hochgebirgen von Ahaggar und Tibesti, Eruptivgesteine hinzukommen. Die Sahara baut [illegible] aus lauter terrassenförmig übereinander aufsteigenden Ebenen auf, deren Decken [illegible] Schichtflächen, deren abfallende Ränder von den Schichtköpfen gebildet sind, und selbst [illegible] bedeutenden Gebirge bestehen, soweit die Nachrichten reichen, der Hauptsache nach aus enger [illegible] zusammendrängenden Terrassenstufen. Der Flugsand ist die jüngste Bildung, die weiten Strecken ganz fehlt, an anderen dagegen in so mächtigen Massen angehäuft ist, daß er den Terrassenbau des Grundgebirges verhüllt. Von den wichtigsten Terrainformen der Sahara ist in erster Linie die Hammâda zu nennen, die Steinwüste, in der die Grundzüge des geologischen Baues am klarsten hervortreten; eine und dieselbe Schichtfläche bildet auf weite Strecken hin den ebenen Boden, der aus [illegible] Lehm besteht. Die unabsehbare Fläche ohne Wasser und Vegetation ist [illegible] Trümmern und Splittern von Gestein bedeckt, oder statt ihrer treten in der [illegible] Wasenform zahllose kleine, gleichmäßige und abgerundete Steinchen auf. [illegible] die Wanderung über eine solche Hammâdafläche, bis man endlich in der Ferne einen steilen Absturz gewahrt, der sich geradlinig hinzieht; es ist eine neue Terrassenstufe, ein Schichtkopf, über den man hinansteigt, um darüber wieder die glei[che]

DIE ÖSTLICHE SAHARA.

(Nach der Natur.)

eintönige Ebene zu finden. Als eine besondere Eigentümlichkeit dieser Art der Wüste sind die sehr charakteristischen Inselberge, die sogenannten Zeugen, die Gura der Araber, zu nennen (s. untenstehende Abbildung). Die einzelnen Terrassen erheben sich nämlich nicht unvermittelt übereinander, sondern jede neue Stufe wird schon auf eine Entfernung von mehreren Meilen durch das Auftreten von Inselbergen angekündigt, die sie in einem breiten Gürtel wie eine Vorpostenkette umgeben. Alle diese isolierten Kuppen sind auf einer und derselben Stufe von gleicher Höhe, die derjenigen des Randes der nächst höheren Stufe entspricht, und bei allen wird die Decke von derselben Schicht gebildet, aus der auch die Oberfläche der nächst höheren Terrasse besteht. Es geht daraus hervor, daß die Inselberge nur übriggebliebene Stücke einer ursprünglich weit ausgedehnteren Terrasse sind (s. S. 583).

Die Hochgebirge der Sahara stellen der Hauptsache nach die Erscheinungen der Hammâda in mächtig zusammengedrängtem und gesteigertem Maßstabe dar; gewaltig türmen sich die Ter-

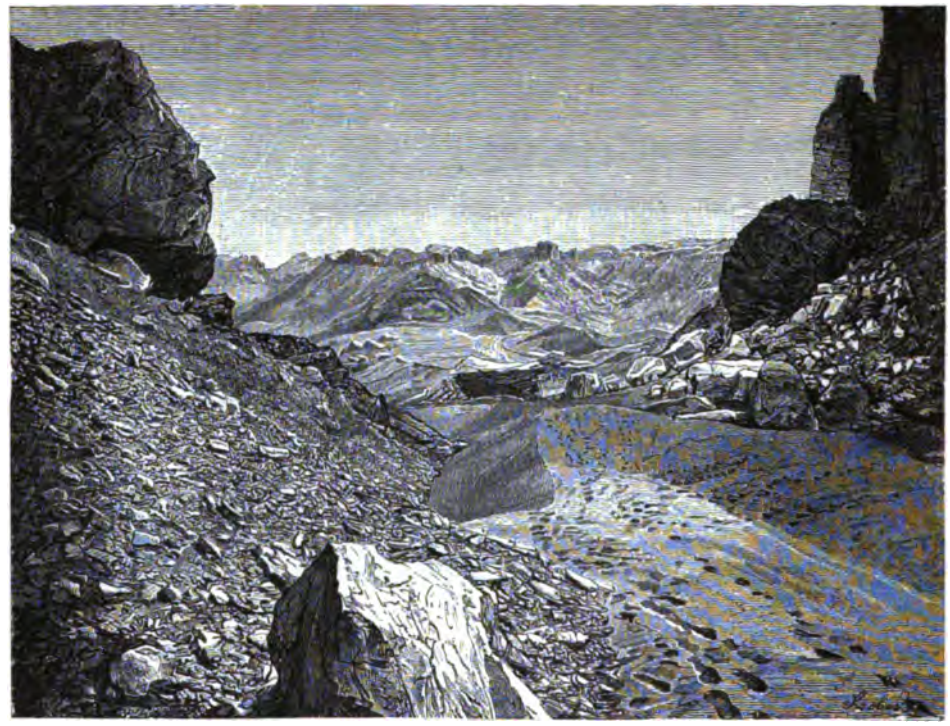
Zeugenlandschaft bei Guelb el Zerzour. (Nach „Mission de Chadamès".)

rassen übereinander und bilden Hochregionen, in denen teilweise reichlicher Regen fällt; ja, im Winter sind sie stellenweise drei Monate hindurch mit Schnee bedeckt. In den tief eingerissenen Thälern brausen nach heftigen Regengüssen wilde Sturzbäche, Geröll und Felsblöcke mit sich reißend, herab; aber sie versiegen und versinken in den Boden, sobald sie in die flacheren Gebiete hinaustreten. Die Thäler dieser Gebirge mit ihren Bächen und Seen tragen eine reiche Vegetation, während die Gehänge der Berge und ihre Hochflächen trostlose Einöden sind.

Einen anderen Haupttypus der Wüstenlandschaft, der mit der Hammâda durch mannigfache Übergänge verbunden ist, bildet die Sand- und Dünenwüste, die „Areg-Region", die trostloseste aller Ausbildungsarten, wenigstens da, wo sie in voller Entwickelung auftritt. Ein reiner, meist lichtgelber Quarzsand bedeckt als welliger Teppich den Boden, „aus dem in weiteren oder engeren Abständen Gruppen unregelmäßig geordneter oder häufiger paralleler Ketten aneinander gereihter Hügel hervortreten. So weit das Auge schaut, sieht es nichts als Sand, ein einziges unabsehbares, fahles Sandmeer, aus dem die gewaltigen Dünen wie riesige versteinerte Wellen hervorragen. Da, wo die Dünen in wirren Haufen beisammenstehen, ist der Reisende zuweilen wie in einem tiefen Kessel von steilen Böschungen umschlossen, und es bedarf der vollen Aufmerksamkeit des kundigen Führers, um den Ausweg aus diesem Labyrinth zu finden. In der Libyschen Wüste, dem großartigsten Sandgebiete der ganzen Sahara, sind die Dünen meist zu förmlichen Gebirgsketten angeordnet, schon von der Ferne kenntlich an der rein gelben

Färbung und dem vielköpfigen Profil. Zwiſchen ihnen erſtrecken ſich ebene Thäler, bald mit Sand bedeckt, bald den harten Felsboden zur Schau tragend (ſ. untenſtehende Abbildung).

„In Abſtänden von 1—2 km erheben ſich die rundlichen Köpfe, in der Profilanſicht mit einem ſanft und einem ſteil anſteigenden Gehänge. Im Querſchnitt ſteigt die dem Winde zugekehrte Seite langſam und allmählich an, ihre Oberfläche iſt am Fuße, namentlich nach einem Sturm, wellig bewegt, gegen den Gipfel wird die Neigung allmählich ſteiler, oben iſt der Grat haarſcharf abgeſchnitten. Von da fällt die dem Winde abgekehrte Seite mit ſo ſteilem Winkel ab, daß man Stunden, ja halbe Tage lang längs der Dünenkette zu marſchieren ge-



Bab el Caillioud in der Libyſchen Wüſte. Vgl. Text, S. 577.

nötigt iſt, um eine Einſenkung aufzuſuchen, welche der Karawane das Überſchreiten ermöglicht. Am ſchauerlichſten erſcheint die Dünenwüſte bei heftigem Sturm; dann iſt die Luft mit feinem Sand erfüllt, durch förmliche ſchwarze Sandwolken verdunkelt. Die Dünen rauchen, ihr Umriß verſchwimmt mit der fahlen Luft; alles ſcheint in Bewegung zu ſein. Mit entſetzlicher Gewalt werfen die Windſtöße ſcharfe Sandkörner gegen alle erhabenen Gegenſtände, und der Reiſende legt ſich mit brennendem Geſicht und Händen, vom Staube geblendet, zu Boden und ſchützt ſich durch Decken gegen die Unbill des Samum. Erſtaunliche Maſſen von Sand werden während eines Sturmes von der Stelle bewegt. Auch unterliegt es keinem Zweifel, daß die Dünen ihre Geſtalt dem Winde verdanken. Man kann ſich leicht überzeugen, wie jede Unebenheit des Bodens, ein Felsblock, ja ein moderndes Kamelgerippe, ein einzelner Buſch, Veranlaſſung zur Aufwerfung eines Sandhügels bieten. Und hat ſich ein ſolcher Neuling einmal gebildet, ſo treibt der Wind ſtets friſches Material herbei. Die Sandkörnchen werden an der Windſeite angetrieben, in die Höhe geſchoben und zuletzt über den Grat hinabgerollt, ſo den Querſchnitt der beginnenden Düne verbreiternd. Nur unter beſonders günſtigen Bedingungen dürften jedoch noch jetzt neue größere

Dünenketten entstehen, denn die bereits vorhandenen bilden natürliche Sammler des treibenden Flugsandes und vergrößern beständig ihren Umfang. Mag sich die äußere Gestalt der Dünen im Verlaufe der Zeit etwas verändern, mögen sich kleinere von ihrer Stelle bewegen, durchgreifende Veränderungen scheinen kaum noch vorzukommen. Alle größeren, im Reisegebiete der Sahara gelegenen Dünengruppen tragen seit Menschengedenken Namen und werden vom Araber nach Verlauf von Jahren wiedererkannt.

„Im großen Sandmeer der Libyschen Wüste hört das vegetabilische und animalische Leben fast vollständig auf. Man kann tagelang wandern, ohne ein dürftiges Wüstengewächs zu erblicken, ohne den Ruf eines Vogels oder das Summen eines Insekts zu vernehmen. Im allgemeinen pflegt aber die Sandwüste keineswegs die unfruchtbarste Wüstenform zu sein. In der westlichen Sahara, wo zwei- bis dreimal im Jahre ausgiebige Regenschauer den Boden befeuchten, sprießt nach solchen Tagen, wie durch Zauberspruch hervorgelockt, eine grüne, mit bunten Blüten geschmückte Vegetation, die jedoch schon nach wenigen Tagen unter den sengenden Sonnenstrahlen erstirbt. Häufig sammelt sich auch Feuchtigkeit in geringer Tiefe und ermöglicht die Existenz einer bleibenden Vegetation, so daß die besten Weideplätze in der nordwestlichen Sahara sich gerade im Areg-Gebiete befinden." (Zittel.)

Wir haben schon früher bei Besprechung der artesischen Brunnen gesehen, daß die Fruchtbarkeit der Oasen wesentlich abhängig ist von der Ergiebigkeit der Brunnen, die von verschiedenen Grundwasserströmungen (s. S. 423) gespeist werden. Allerdings fällt auch in der Sahara Regen, aber er ist doch so selten, und sein Wasser versinkt so rasch, daß unter den jetzigen Verhältnissen seine Mitwirkung bei der Herausbildung der Oberflächenformen und bei der Erosion kaum in Betracht kommt. Heute ist vor allem die fortwährende und sehr rasche Temperaturveränderung, der Wechsel von drückender Hitze und empfindlicher Kälte, der täglich beim Auf- und Untergang der Sonne stattfindet, einer der wesentlichsten Faktoren der geologischen Veränderung. Sobald die Sonne unter dem Horizont verschwunden ist, tritt empfindliche Kühle ein, so daß auf den höher gelegenen Hammâden oft noch im Mai Frost vorkommt. Am kältesten ist die Temperatur unmittelbar vor Sonnenaufgang, um dann einer glühenden Hitze Platz zu machen; die Schwankungen der Schattentemperatur betragen oft in 24 Stunden 45° C. Die hierdurch bedingte, stets wechselnde Ausdehnung und Zusammenziehung der Gesteine erzeugt feine Risse im Gestein, die sich allmählich vergrößern und ein schaliges Abblättern der Oberfläche zur Folge haben. Beim leichtesten Hammerschlag fallen diese lockeren Schalen, die bei Granit 5—15 mm, bei dichtem Kalkstein kaum 1 mm dick sind, klirrend zu Boden. Bei Feuersteingeröllen und ähnlichen Kieselgesteinen äußert sich die Wirkung der Insolation in der Entstehung radialer Klüfte und durch das Abspringen kreisrunder oder elliptischer, flachmuscheliger Schalenstücke. Manche Blöcke werden von einem wahren Netz von Klüften durchsetzt, so daß sie sofort in Einzelstücke zerfallen, wenn z. B. der umgebende Sand seine Lage verändert. Wenn die Sonne aber Gesteine bescheint, die aus Bestandteilen von verschiedener Farbe, verschiedener Dichte und verschiedener spezifischer Wärme zusammengesetzt sind, wie z. B. Granit, so werden die einzelnen Teilchen ungleich stark und ungleich rasch erhitzt und ausgedehnt und ziehen sich daher bei der Abkühlung auch ungleich stark und ungleich rasch zusammen. Durch die tägliche Wiederholung dieses Vorganges wird das Gefüge des Gesteins derart gelockert, daß endlich Zerfall eintritt. Um bei dem Beispiel des Granits zu bleiben, so besteht er der Hauptsache nach aus Feldspat, Quarz und Glimmer. Der Glimmer ist sehr elastisch und von Natur aus überaus leicht spaltbar, er wird sehr leicht zerrieben, wenn er inmitten einer treibenden Sandwolke schwebt, und dann entführt ihn ein leichter Windstoß. In geringerem Maße gilt dasselbe vom Feldspat, auch er wird in feine Splitter zerrieben, die sich unter dem Einfluß der Verwitterung in Thonstaub verwandeln. Der

Quarz dagegen iſt gegen dieſe Einflüſſe ſehr widerſtandsfähig; wenn er aus dem Zuſammenhang mit dem Feldſpat und dem Glimmer befreit iſt, bildet er loſe Sandkörnchen, und nach den Darlegungen von J. Walther iſt es wahrſcheinlich, daß ein großer Teil der Sandmaſſen der Sahara urſprünglich durch dieſen Vorgang entſtanden iſt.

Neben der Inſolation arbeitet, wenn auch in viel beſcheidenerem Umfang, auch die Verwitterung, namentlich an ſchattigen Stellen, an dem Zerfall der Geſteine; was auf dieſe Weiſe an gelockertem Geſteinsmaterial entſtanden iſt, heben die die Wüſte durchbrauſenden Winde empor und lagern es fern vom Urſprungsort wieder ab. „In der Wüſte iſt kein Winkel ſo verſteckt, kein Plateau ſo eben, keine Bergſpitze ſo iſoliert, daß nicht der Wind ſeine denudierende Thätigkeit

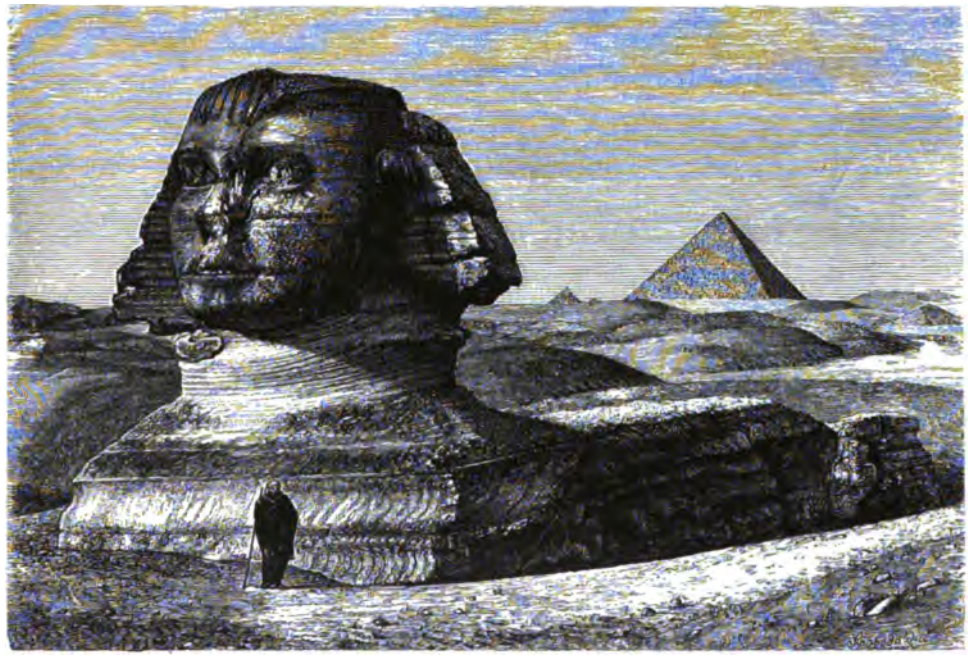
Felsoberfläche, durch Sandſtürme angenagt. (Nach Photographie.)

daran verſuchen könnte. In die engſten Geſteinsſpalten, die tiefſten Höhlungen bringt der Wüſtenwind mit unwiderſtehlicher Gewalt hinein, und alles, was gelockert iſt, wird entführt. Man kann ſich in unſerem Klima keine Vorſtellung von der Wichtigkeit dieſes Vorganges in der Wüſte machen, er übertrifft meines Erachtens alle anderen Denudationsprozeſſe bedeutend an Stärke.

„Ein vortreffliches Beiſpiel für die Intenſität der ‚äoliſchen Denudation' bietet der arabiſche Friedhof bei Grûm am Sinai. Dort findet Quarantäne für die Mekkapilger ſtatt, und die daſelbſt verſtorbenen Kranken werden direkt vor den Häuſern des kleinen Dorfes beerdigt. Nun iſt es zwar arabiſcher Brauch, die Leichen nicht allzu tief zu begraben, aber die in weiße Lappen gehüllten mumifizierten Glieder, welche dort aus ihren Gräbern herausragen, zeigen, daß im Verlauf weniger Jahre eine merkliche Abtragung der Salzthonebene ſtattfindet." (J. Walther.)

Außer dieſer fegenden und abtragenden Thätigkeit, der ſogenannten Deflation, übt der Wind, wenn er mit Sand beladen iſt, noch eine zweite denudierende Wirkung aus; er ſcheuert und glättet durch den Anprall der Sandkörner alle Felsoberflächen und verleiht ihnen dadurch eine eigentümliche matte, firnisartige Politur. Ganz ähnlich ſtellt man in der Technik

Mattglas her, indem man gewöhnliche, durchsichtige Glasplatten einem Schmirgelpulver mit sich führenden Luftstrom aussetzt. Natürlich werden die weniger widerstandsfähigen Teile der Gesteine durch das Sandgebläse stärker angegriffen als die harten, und daher kommt es, daß die Oberfläche bald striemig durchfurcht erscheint, wie dies die obenstehende Abbildung erkennen läßt, bald mit rundlichen Vertiefungen, ja selbst Höhlungen versehen ist. Wo härtere Schichten mit weicheren wechseln, werden die letzteren rascher und tiefer ausgefurcht, so daß die härteren weit hervorragen, ihren Halt verlieren und abbrechen. Ebenso werden z. B. verkieselte Versteinerungen aus dem Gestein herausgemodelt, und es kommen überhaupt alle Arten von Härteunterschieden durch das Sandgebläse zum äußeren Ausdruck. So zeigt z. B. die bekannte Sphinx bei Gizeh, die aus



Die Sphinx bei Gizeh in Ägypten.

einer an Ort und Stelle anstehenden Gesteinsmasse herausgemeißelt ist, an Brust und Hals stark vortretende diagonale Streifen, welche die Partien anzeigen, die durch zufällige Infiltration mit Eisensalzen stärker verhärtet und daher widerstandsfähiger sind (s. obenstehende Abbildung).

Selbst die kleinen Kiesel, die den Boden der Kieswüste, der sogenannten Serir, bilden, erfahren durch das Sandwehen eine fortwährende Abwetzung und bedecken sich hierbei mit zahlreichen kleinen, unregelmäßigen Riefen oder Rillen. Unter geeigneten Umständen können selbst ebene Flächen an den Geschieben angeschliffen werden. Wo sich solche Flächen treffen, entstehen Kanten, und die Gerölle erhalten dadurch eine pyramidale Form; sie werden deshalb Pyramidalgerölle, Kantengeschiebe, auch Dreikanter und Facettengeschiebe genannt. Man hat namentlich an das Vorkommen solcher Facettengeschiebe in den Flugsandgebieten der norddeutschen Ebene mannigfache Vermutungen geknüpft, aber endlich wurden diese sonderbaren Formen als Ergebnis der Sanderosion erkannt, und durch den Nachweis von Dreikantern im nordafrikanischen Wüstengebiet ist vollends jeder Zweifel beseitigt worden. Sehr anschaulich hat J. Walther diese Bildung der Kantengerölle geschildert: „Wer Gelegenheit gehabt hat, bei starkem Wind über eine Serirfläche zu reisen, der hat sich von der schleifenden Thätigkeit des Sandes leicht überzeugen

können. Dann iſt der ganze Boden lebendig, überall kriecht der Sand mit ſchlangenartigen Windungen über die Kiesflächen, ſo daß das Auge, raſch ermüdet von der ſchlängelnden Bewegung der Sandſtreifen, nicht lange das Schauſpiel zu betrachten vermag. Wie Waſſer in einem ſeichten Flußbett, ſo winden ſich die kleinen Sandgerinne zwiſchen den Kieſeln hindurch, bald vereinigen ſich zwei Ströme, bald gabeln ſie ſich, wenn Widerſtände ihnen entgegentreten. Infolge dieſer Gabelung und Wiedervereinigung kleiner Sandſtröme werden ſolche Steine, auf welche konvergierend zwei Sandſtröme ſtoßen, mit zwei Facetten verſehen, deren jede durch einen Sandſtrom gebildet wurde. Indem ſich dieſe Facetten immer mehr vergrößern, kommen ſie endlich zum gegenſeitigen Schneiden und bilden dadurch eine Kante. Gerölle, welche konſtant durch ähnliche Sandſtröme beſpült werden, erhalten ſcharfe Kanten, wechſelt aber die Richtung der Sandſtröme, ſo werden die Kanten und Flächen undeutlich und wieder verwiſcht."

Konglomeratblock, durch Winderoſion frei gelegt. (Nach Gilbert.)

Die Bedeutung des Sandgebläſes als Mittel der Eroſion läßt ſich ſchwer abſchätzen, da ſeine Thätigkeit von der der Deflation kaum zu trennen iſt. Daß die in Verbindung mit der Deflation erzielte Wirkung keine ſo ganz unbedeutende iſt, zeigt unter anderem der obenſtehend abgebildete Block, den Gilbert in den weſtlichen Teilen der amerikaniſchen Union beobachtet hat. Es iſt ein harter Konglomeratblock, der von einer ſchroffen Thalwand abgeſtürzt iſt und auf einem zarten Schiefer aufruht. Dieſer letztere iſt ringsum durch die Thätigkeit des ſandbeladenen Windes abgetragen und hat ſich nur unter dem Blocke erhalten, ſo daß das Konglomeratſtück nun auf einem erhabenen Poſtament ruht.

Iſt nun dieſe Art abtragender Thätigkeit, wie wir ſie heute allein im größten Teile der Sahara finden, im ſtande, die merkwürdige und komplizierte Reliefbildung zu erklären? Das Vorhandenſein ungeheurer Mengen von Flugſand, die Terraſſenbildung, die Menge der Inſelberge, die Becken mit ihrer Lehmausfüllung, die zahlreichen Trockenthäler, alles das ſind Erſcheinungen, die auf eine ſehr ausgiebige Eroſion hinweiſen, und es mag bei aller Größe der geologiſchen Zeiträume Bedenken erregen, dieſe Erſcheinungen einzig und allein jenen überaus langſam wirkenden Urſachen ohne Mithilfe von bewegtem Waſſer zuzuſchreiben. Unter dem Eindruck des früher ziemlich allgemein verbreiteten Vorurteils, daß der Dünenſand eine ſpezifiſche

Eigentümlichkeit der Meeresküste und des Meeres überhaupt sei, und geleitet von gewissen zoogeographischen Erwägungen, hat man lange Zeit der Ansicht gehuldigt, daß die Sahara ein ausgetrocknetes Meer und der Wüstensand Meeressand sei. Da die ganze Sahara aus marinen Kalken, Mergeln und Sandsteinen zusammengesetzt ist, muß ihr Gebiet selbstverständlich Meeresboden gewesen sein, als sich diese Gesteine niederschlugen. Die festen, terrassenbildenden Ablagerungen reichen aber nur bis in die erste Hälfte der Tertiärzeit; dann trat das Meer zurück, und es entsteht daher die Frage, ob später, in den letzten Phasen der tertiären und während der diluvialen Zeit, das Meer abermals vorgedrungen ist, und ob die Salzausblühungen und der Flugsand damit in Verbindung gebracht werden können.

Die fortschreitende Kenntnis der Sahara hat diese sehr allgemein verbreitete Annahme nicht bestätigt. Es hat sich gezeigt, daß nicht einmal das thatsächlich ungefähr 24 m unter dem Meeresspiegel gelegene Seegebiet südlich von Tunis zur Diluvialzeit vom Meer überzogen war, und von einer allgemeinen Wasserbedeckung kann vollends keine Rede sein. Nirgends haben sich im Inneren jungtertiäre oder diluviale Meeresniederschläge und Versteinerungen gefunden; der Salzgehalt bildet, wie wir im nächsten Abschnitt sehen werden, eine gemeinsame Eigentümlichkeit aller abflußlosen Gebiete, und der Flugsand ist zweifellos nur ein Wüstenprodukt, das aus der Zerstörung der sehr verbreiteten, zur Kreide- und Devonformation gehörigen Sandsteine, durch den Zerfall des Granits und anderer Gesteine und selbst durch die Auflockerung der diluvialen Sande der noch später zu besprechenden Trockenthäler entstanden ist.

Auch zwei andere fundamentale Wüstenerscheinungen, die Terrassenbildung und die Inselberge, lassen sich durch die beschriebenen Denudationsvorgänge der Wüste befriedigend erklären. Besteht eine Hammâda, wie dies so oft der Fall ist, aus einer horizontalen Wechsellagerung von härteren und weicheren Schichten, z. B. von Mergelschiefer und Kalkstein, so wird der Wind, wenn oben das weniger widerstandsfähige Gestein liegt, zuerst diese durch Insolation, Verwitterung und Sandgebläse gelockerte Masse entfernen und die Hammâda zu einem Tafelland umgestalten, dessen Oberfläche durch das harte Gestein gebildet wird. Von obenher kann die Deflation auf die harte Oberflächenbank nur wenig einwirken, aber am Abbruch der Terrasse vermag sie die weichere Unterlage von der Seite anzugreifen; die Unterlage wird von der Deflation allmählich unterminiert, und ist erst eine Hohlkehle geschaffen, dann dauert es nicht lange, bis die harte Bank so weit vorragt, daß sie abbrechen muß. Dabei kann es natürlich sehr leicht geschehen, daß dieser Vorgang an einzelnen Stellen leichter und deshalb rascher erfolgt als nebenan, und die nächste Folge davon ist die Entstehung von Buchten. Diese nagen sich immer tiefer in das Tafelland ein, erweitern sich zu amphitheatralischen Kesseln, verzweigen sich, und endlich wird eine randliche Partie gänzlich abgeschnitten und ein Inselberg, ein „Zeuge" geschaffen. Die frei stehenden Zeugen bieten der Denudation natürlich geringeren Widerstand als die kompakte Tafelmasse, sie werden daher immer mehr abgenagt und immer weiter vorgeschoben, bis schließlich die bisherigen Zeugen verschwinden, neue gebildet werden und zugleich der Tafelrand immer weiter zurückrückt. Es kann endlich dahin kommen, daß der letzte „Zeuge" einer früher weitausgedehnten Gesteinsschicht verschwindet und die allgemeine Abtragung durch den Wind vorschreitet, bis sie die nächste harte Bank bloßlegt und der Prozeß der Zeugenbildung von neuem beginnt.

Die herabfallenden Stücke der harten Bänke werden vom Winde nur wenig angegriffen; sie bilden ein Hindernis für den Fortschritt der Zerstörung. Hierbei treten aber gelegentliche Gewitterregen, die in der Wüste, wenn auch sehr selten, so doch mit elementarer Gewalt niedergehen, unterstützend ein: sie schaffen mit einem Schlage weg, was sich oft durch viele Jahre an Schutt am Rande der Terrassen und der Inselberge angesammelt hat. Die gewaltigen Äußerungen der erosiven Kraft des fließenden Wassers, wie man sie ausnahmsweise auch in der Wüste beobachtet,

legen die Vermutung nahe, ob es nicht überhaupt Flüsse waren, die etwa in einer regenreicheren Periode die Zeugenlandschaften geschaffen haben. Wäre dies der Fall, dann müßten die Steilränder der Terrassen von zahlreichen kleinen Thaleinschnitten eingekerbt sein, und es könnten nicht amphitheatralische Ausbuchtungen vorkommen, sondern es müßten eingefurchte Thalwege gebildet worden sein, denn das Wasser konzentriert unter allen Umständen seine Wirkung auf eine tiefste Furche und weitet keineswegs einen Kessel gleichmäßig aus. Ebenso widerspricht das Auftreten der zahlreichen, auf meilenweite Entfernung vorgeschobenen Zeugen dem ganzen Wesen der erosiven Wirkung des Wassers. Diese Schwierigkeiten entfallen von selbst, wenn man im Sinne der oben gegebenen Erklärung den Wüstenstürmen die Leistungsfähigkeit zuschreibt, die ihnen nach allen Beobachtungen in der That zukommt.

So beträchtlich diese auch sein mag, so scheint sie doch nicht genügend und vielleicht auch nach der Art ihrer Wirkungsweise nicht geeignet, eine andere auffallende Wüstenerscheinung zu erklären: die Trockenthäler oder Wadis. Wohl das auffallendste Beispiel aus der großen Zahl bildet der vielgenannte und sagenberühmte Wadi Irharhar, der sich vom Ahaggargebirge auf etwa 200 Meilen bis zum Seengebiet südlich von Tunis verfolgen läßt. In ihm sammeln sich alle Wasser einer weiten Bergregion, aber schon bald nach dem Austritt aus dieser verliert sich das Wasser, nur nach heftigem, andauerndem Regen erhält es sich etwas länger. Beim Bohren von Brunnen kommt man schon in geringer Tiefe auf Wasser, aber an der Oberfläche ist es verschwunden. Es ist das Gebiet, wo die Franzosen durch die Anlage artesischer Brunnen so große kulturelle Erfolge errungen haben (s. S. 424). In früherer Zeit aber muß die ganze Strecke von einem bedeutenden Strome durchflossen worden sein, der das große, stellenweise sehr breite Flußbett ausgehöhlt und in der Niederung Schotter und Sande abgelagert hat. Wie der Wadi Irharhar, so enthalten auch die meisten anderen Trockenthäler Terrassen von Sand und Schotter, von denen man unmöglich annehmen kann, daß sie durch gelegentliche Gewitterregen entstanden seien. Wohl treten in Verbindung mit den Wadis auch Zirkusthäler auf, und es weisen auch sonstige Erscheinungen darauf hin, daß die Deflation spätere Veränderungen an den Trockenthälern vorgenommen hat, aber die ganze Anlage der Trockenthäler mit ihren Terrassen hat doch die ehemalige Wirksamkeit größerer und beständig fließender Wassermengen zur Voraussetzung. Man hat sich durch diese Erfahrungen zu der Annahme gedrängt gesehen, daß das Saharagebiet früher ein feuchteres Klima gehabt habe als heute, und daß in früherer Zeit fließendes Wasser in ausgiebiger Weise an der Erosion und Oberflächenbildung mitgearbeitet hat.

Zu dem Auftreten der Trockenthäler gesellen sich noch andere Erscheinungen, die geradezu als vollgültige Beweise für die Richtigkeit dieser Auffassung gelten können: in den Sümpfen des Ahaggargebirges halten sich Krokodile auf, deren oft angezweifelte Existenz durch den kühnen Reisenden de Bary mit Sicherheit bestätigt worden ist. Diese Reptilien sind Überbleibsel aus einer Zeit größerer Wasserverbreitung. Stellenweise finden sich Tropfsteinhöhlen und Ablagerungen von jungem Kalksinter, und in einer der letzteren hat Zittel bei Kasr Dachel in der Libyschen Wüste ein Blatt einer immergrünen Eiche gefunden, eines Baumes, der heute der ganzen Wüstenregion absolut fremd, aber in den Waldgebieten des Mittelmeeres verbreitet ist. Auch die uralten rohen Skulpturen, die man im westlichen Teile der Sahara und im Atlas in Stein eingehauen gefunden hat, zeigen Abbildungen des Rindes, des Elefanten, der Giraffe und des Straußes, die unter den jetzigen Verhältnissen in jener Gegend nicht leben können. Diese Bildwerke weisen darauf hin, daß auch der Mensch noch Zeuge des früheren besseren Zustandes gewesen sei, und dasselbe geht aus den Pfeilspitzen und Feuersteingeräten hervor, die bei Ogla-el-Hassi in der algerischen Sahara unter einer 0,6 m mächtigen Kalktuffschicht, dem Niederschlag einer heute versiegten Quelle, gefunden worden sind.

Kann auf diese Weise eine frühere „pluviatile" Periode in der Sahara als erwiesen gelten, so haben die ausgedehnten Untersuchungen, die die Franzosen wegen einer künftigen Sahara-Eisenbahn ausgeführt haben, auch die Ablagerungen dieser regenreicheren Zeit zu unserer Kenntnis gebracht. Südlich vom Atlasgebirge, in der algerisch-tunesischen Sahara, und zwar im Gebiete des Wadi Irharhar, bilden die kalkigen Schichten der mittleren und oberen Kreideformation eine flache Schale, die mit Sanden und wenig verkitteten Sandsteinen, Konglomeraten und Thonen der jüngsten Tertiärzeit und des Diluviums gefüllt ist. Der Kreide entsprechen im allgemeinen Hammâden, den jungtertiären und diluvialen Ablagerungen die tiefer gelegenen Landschaften mit den unterirdischen Wasservorräten und den großen abflußlosen, salzigen und zeitweilig eintrocknenden Seen, den sogenannten Schotts und Sebchas. Zur Zeit des jüngsten Tertiärs und in der ältesten Diluvialzeit bestanden hier weit ausgedehnte Seen, in denen bis zu 300 m mächtige Schichten abgesetzt wurden, und in denen eine reiche Süßwasserfauna gelebt hat. Der Salzreichtum der umgebenden Gebirge bedingte auch einen gewissen Salzgehalt in diesen großen Seen, und die heutigen Schotts mit ihrer Gips- und Salzführung sind nur die verkümmerten Reste des ehemaligen großen Wasserbeckens. Die Ausfurchung der großen Trockenthäler, die zum Teil in die jungtertiären Ablagerungen eingeschnitten sind, ist zu Beginn der Diluvialperiode erfolgt; damals wurden die Schotter und Sande der Trockenthäler abgesetzt und z. B. bei Biskra Terrassen gebildet, die 40—50 m hoch über die umgebende Ebene ansteigen. Zur Bildung so gewaltiger Flußterrassen ist eine beständige Wasserführung der Flüsse unbedingt erforderlich, und es scheint sogar, daß man nach dem Vorkommen von subfossilen Süßwassermuscheln in den Ablagerungen der Trockenthäler von El-Golea anzunehmen habe, das betreffende Gebiet sei noch in jüngster geologischer Vergangenheit von Süßwasser durchflossen gewesen. Die betreffenden Muscheln gleichen nämlich vollständig denen, die im Mittelmeergebiet Europas und Afrikas heute noch leben.

Die Zeit des Maximums der Niederschläge ist nach den französischen Forschern auf Grund der Untersuchungen in der westlichen Sahara in das jüngste Tertiär zu verlegen, nicht, wie man bisher zumeist angenommen hat, in das Diluvium oder in die Eiszeit. Anderseits scheinen dieselben Forscher geneigt, die Umwandlung der Sahara in eine echte Wüste in eine sehr späte Periode zu setzen, in Übereinstimmung mit der auch schon früher vielfach aufgestellten Behauptung, daß die bedeutende Verschlechterung des Klimas erst in historischer Zeit eingetreten sei, ja daß noch zur Zeit der Römerherrschaft bis in die christliche Ära hinein größerer Wasserreichtum geherrscht habe. Die Belege für diese Ansicht sind jedoch nicht entscheidend; daß zur Zeit der ägyptischen Pharaonen, der Karthager und selbst noch unter den römischen Kaisern bedeutende Ortschaften und selbst ansehnliche Städte in Gegenden bestanden haben, die jetzt durchaus steril sind, ist nicht die Folge einer durchgreifenden klimatischen Veränderung, sondern erklärt sich aus dem rapiden Verfall der Kultur in jenen Gegenden. Immerhin aber steht fest, daß die Sahara erst nach der Diluvialzeit echten Wüstencharakter angenommen hat, und daß die Ausfurchung der Trockenthäler der Hauptsache nach durch fließendes Wasser erfolgt ist.

Die Wüste zeigt noch einige untergeordnete Eigentümlichkeiten, deren Wesen nur zum Teil erkannt ist. Wenn in manchen Gegenden der Boden ausschließlich aus Feuersteinknollen oder verkieselten Versteinerungen besteht, so liegt der Grund hiervon wohl darin, daß die Kieselmassen alle anderen Gesteine an Widerstandsfähigkeit gegen die Angriffe der Sonne, des Windes, des Sandgebläses und der Verwitterung übertreffen und daher am Boden zurückbleiben, während das weichere Material zerstört und entfernt wird. Die auf den ersten Blick sehr befremdliche Erscheinung wird also durch die von den erosiven Kräften der Wüste vorgenommene Auslese des Härteren wohl erklärlich. Dagegen ist eine andere Erscheinung der Wüste noch durchaus rätselhaft:

die sogenannte braune Schutzrinde, eine harte, feste Kruste von schwarzbraunem, manganhaltigem Brauneisenstein, die die Wüstengesteine ziemlich allgemein überzieht. Die dunkle Farbe der Schutzrinde ist so auffallend, daß sie weniger kundige Reisende schon wiederholt zu Verwechselungen mit basaltischen Gesteinen veranlaßt hat. Wo diese Schutzrinde abfällt, greift sofort die Wüstenerosion lebhaft ein, und es entstehen in dem betreffenden Fels Höhlungen. Bisweilen kommt es hierbei zur Bildung von förmlichen Säulengängen. Felsmassen, die auf der Oberfläche von brauner Schutzrinde überzogen sind, an den Seiten aber der Deflation und dem Sandgebläse ausgesetzt sind, erhalten dadurch eine pilzähnliche Form. Die Details aller dieser Vorgänge sind noch wenig bekannt, und so bieten die Denudationserscheinungen der Wüste noch manches schwer zu lösende Rätsel.

Gesamtwirkung der Denudation.

Die Menge der Substanzen, die vom Wasser gelöst und fortgeführt werden, ist ungeheuer. Die Masse von Salzen, die etwa jährlich auf diesem Wege dem Meere und den Seen mitgeteilt wird, entzieht sich zwar einer genauen Schätzung, aber wir können uns annähernd eine Vorstellung von der Großartigkeit dieser Vorgänge machen, wenn wir die Summe der Wirkungen im Verlauf langer Perioden ins Auge fassen. Der ganze Salzgehalt des Meeres, der etwa 900 Milliarden Zentner beträgt, und der Salzgehalt aller Binnenseen stammen aus dieser Quelle, alle Salz- und Gipslager, ja bei weitem die Mehrzahl aller Kalke und Dolomite verdanken ihr Material diesem Prozeß: dieses wurde aus dem Felsgerüst der Erde von fließendem Wasser ausgelaugt, dem Meere oder den Seen zugeführt und kam, sei es durch unmittelbare Ausscheidung, sei es durch die Vermittelung von Pflanzen und Tieren, zur Ablagerung. Allein trotz des enormen Betrages bleiben alle diese Wirkungen weit hinter dem zurück, was auf rein mechanischem Wege vom Wasser zerstört, fortgeführt und wieder abgelagert wird. In demselben Maße, wie im Aufbau der Erde die kristallinischen Schiefer, die Thonschiefer, Quarzite, Sandsteine, Thone und alle die aus Gesteinszerreibsel entstandenen Gebilde über Kalk, Dolomit, Steinsalz, Gips und ihre Genossen dominieren, so herrscht die mechanische Zerstörung über die chemische vor. Aber selbst diese Anschauungsweise gibt uns noch kein hinreichend großartiges Bild von der Wirkung aller abtragenden, „denudierenden", Kräfte. Man hat gesagt, der Maßstab für die gesamte Wirkung der Denudation im Verlauf der Erdgeschichte biete die Summe aller geschichteten Ablagerungen, die ja alle ihr Material auf diesem Wege erhalten haben. Allein selbst diese Auffassung reicht nicht entfernt an die Großartigkeit der Erscheinungen in der Natur hinan. Fragen wir heute, woher die Flüsse ihren Schlamm, ihren Sand, die Gerölle, die gelösten Bestandteile nehmen, so finden wir, daß bei weitem der größte Teil geschichteten Ablagerungen entnommen wird, daß sie also Materialien führen, die schon zum zweiten-, drittenmal oder noch öfter der Verwitterung und Fortführung unterliegen. Wenn wir uns die Bedeutung dieser Thatsache klar machen, so erkennen wir, daß die Gesamtheit aller geschichteten Gesteine sicherlich noch nicht die Hälfte des Betrages der Denudation ergibt, die im Laufe der Erdgeschichte stattgefunden hat.

Man hat den Betrag der Denudation in einem gegebenen Zeitraum zu berechnen versucht, um daraus dann weiter zu folgern, wie lange Zeiträume notwendig waren, um das Gesamtmaterial der geschichteten Gesteine zu liefern. Aber man kann bis jetzt diesen Spekulationen kein großes Gewicht beilegen. So hat man bei einigen Flüssen die Menge des Wassers gemessen, die sie jährlich dem Meere zuführen, und ebenso das Schlammquantum, das dabei mitgeschleppt

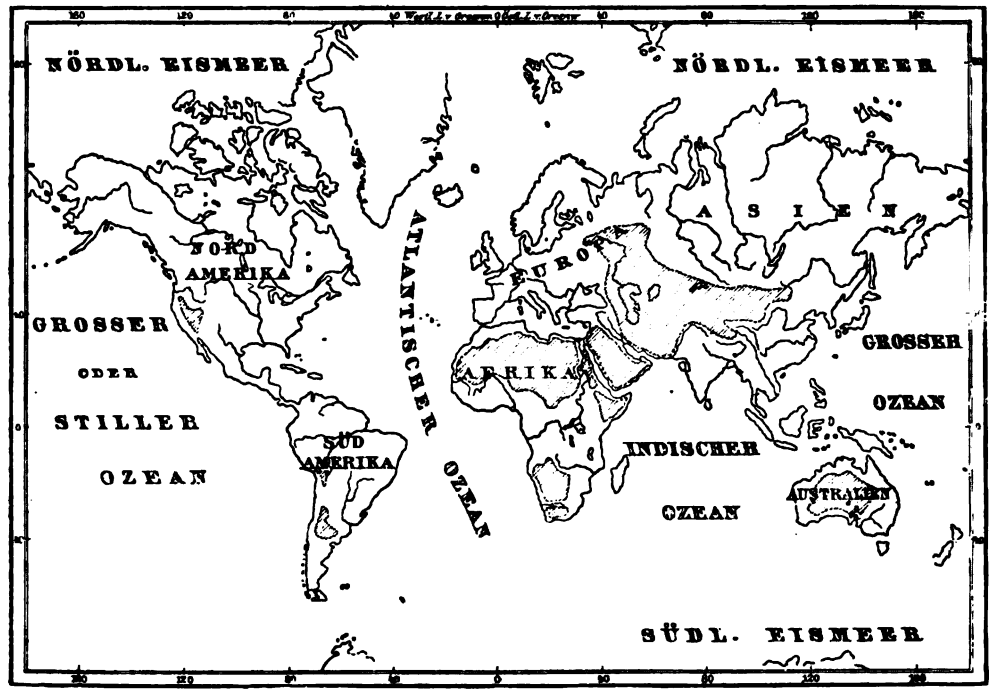
wird. Aus beiden Faktoren läßt sich berechnen, wieviel Material der Fluß jährlich dem Gebiet entzieht, das er entwässert, und aus der Ausdehnung dieses Gebietes ergibt sich, um wieviel es jährlich durch Denudation niedriger wird. Leider sind jedoch die auf diese Weise ermittelten Zahlen nur bis zu einem gewissen Grade verläßlich. Die zu Grunde liegenden Beobachtungsreihen sind meist nur kurz, da aber die Schlammführung eines Flusses in verschiedenen Teilen eines Jahres, ja auch in verschiedenen Jahren sehr verschieden ist, so müssen notwendigerweise Fehler unterlaufen, wenn man das Ergebnis kurzer Beobachtungen auf das ganze Jahr überträgt und alle Jahrgänge gleichstellt. Die Unterschiede, um die es sich dabei handelt, sind keineswegs geringfügig; so hat z. B. die Donau nach A. Penck in den feuchten Jahren 1870 und 1871 9—13mal so große Schlammmassen fortbewegt, als während der trockenen Jahre 1863 und 1865. Die Messungen sollten also durch mehrere Jahre hindurch ununterbrochen fortgesetzt werden; dieser Forderung genügt aber kaum eine der vorhandenen Beobachtungsreihen. Während ferner die Flüsse Gesteinsmaterial in dreierlei Form nach abwärts führen, auf der Sohle als Geschiebe, im Wasser schwebend als Schlamm und in Lösung, erstrecken sich die Messungen gewöhnlich nur auf die beiden letzteren Formen oder gar nur auf eine davon. Von manchen Beobachtungsstationen liegen wohl Messungen der in einer Raumeinheit Flußwasser schwebend und in Lösung fortgeführten Massen vor, es fehlen aber Messungen der im Strome durchziehenden Wassermenge; dann ist man genötigt, aus der jährlich niederfallenden Niederschlagsmenge auf die ungefähre Wasserführung zu schließen, und dies eröffnet natürlich große Fehlerquellen. Der Mangel besonderer Ermittelungen für die Geschiebeführung fällt wohl bei großen Strömen nicht ins Gewicht, da ja diese an der Sohle nicht mehr transportierend wirken, um so mehr aber bei den kleineren Nebenflüssen. Bei diesen sind die Bedingungen für die Bestimmung der Geschiebemengen nur ausnahmsweise günstig, wie z. B. bei der Kander und der Reuß, bei denen der Zuwachs des Deltas im Thuner und im Vierwaldstätter See gemessen und berechnet werden konnte.

Trotzdem sind selbst Ermittelungen, die mit derartigen Fehlern behaftet sind, von Interesse, und wir teilen daher einige dieser Werte mit. M. Reade hat z. B. berechnet, daß von der Oberfläche von England und Wales alljährlich eine 0,018 mm mächtige Gesteinsschicht in gelöstem Zustande fortgeführt wird; für die ganze Erde schätzt er die Abtragung durch Auflösung auf jährlich 0,012 mm. Die zuverlässigsten, von A. Penck revidierten Zahlen sind in der nachfolgenden Tabelle enthalten; auch sie sind nicht ganz einwandfrei, geben aber doch eine gute Vorstellung von den Größen, um die es sich handelt.

Jährliche Abtragung im Wassergebiet verschiedener Flüsse.

Elbe oberhalb Tetschen, berechnet nach den gelösten und schwebend fortgeführten Massen	0,012 mm
Seine oberhalb Paris	0,024 "
Maas oberhalb Lüttich	0,050 "
Donau oberhalb Wien	0,056 "
Rhône oberhalb des Genfer Sees, berechnet nach den gelösten und schwebend fortgeführten Massen	0,440 "
Arve oberhalb Genf, berechnet nach den gelösten und schwebend fortgeführten Massen	0,210 "
Reuß oberhalb des Vierwaldstätter Sees, berechnet nach dem Deltazuwachs	0,180 "
Kander oberhalb des Thuner Sees	0,280 "
Amu Darja, berechnet nach den schwebend fortgeführten Massen	0,120 "
Indus	0,270 "
Ganges	0,300 "
Irawadi	0,310 "
Jantsekiang	0,070 "
Nil, berechnet nach den gelösten und schwebend fortgeführten Massen	0,018 "
Mississippi, berechnet nach den schwebend fortgeführten Massen	0,045 "

Eine Reihe von Thatſachen geht aus dieſer Zuſammenſtellung deutlich hervor: der Einfluß des Gefälles und der Höhe des Denudationsterrains zeigt ſich in den größeren Werten der Alpenflüſſe Rhône und Arve, in dem mittleren Werte der Donau als Abfluß der Alpen und des Vorlandes, in den geringen Werten der Elbe und Seine als Flüſſen des Mittelgebirges und der Ebene. Die Abtragung der Kander und der Reuß iſt nur nach dem Deltazuwachs, alſo nach der groben Geſchiebeführung berechnet; berückſichtigt man aber auch die ſchwebend und gelöſt fortgeführten Maſſen, ſo gelangt man nach E. Brückner zu einer mittleren Abtragung des Waſſergebietes von 0,5 mm jährlich und erhält in dieſer Größe, da die Kander und die Reuß aus dem Hochgebirge, alſo dem Gebiete der intenſivſten Denudation herabkommen, zugleich einen



Die Gebiete der Erde ohne Abfluß nach dem Meere. Vgl. Text, S. 589.

unteren Grenzwert für die größtmögliche Abtragung. Im Jahrhundert würde dieſe 5 cm, in rund 2000 Jahren 1 m betragen.

Es hat auch nicht an Verſuchen gefehlt, außer der kontinentalen auch die marine Eroſion zu ſchätzen und einen Betrag für die jährliche Abtragung der ganzen Erde zu gewinnen. Von A. de Lapparent wurde die geſamte jährliche Abtragung auf 16 Kubikkilometer berechnet, was einer jährlichen durchſchnittlichen Erniedrigung der Kontinente um 0,11 mm entſprechen würde. Zur völligen Einebnung der Kontinente würde danach, eine mittlere Höhe der Kontinente von 700 m vorausgeſetzt, der, geologiſch genommen, geringe Zeitraum von 4,5 Millionen Jahren genügen. Mußten wir aber ſchon die für die Abtragung der Flußgebiete gewonnenen Werte als wenig zuverläſſig bezeichnen, ſo gilt dies in noch viel höherem Grade für die Berechnungen, die ſich auf die ganze Erde erſtrecken. Die einzelnen Flußgebiete ſind in ihrer Bedeutung für die Abtragung ſehr ungleichwertig und unſere Erfahrungen noch viel zu gering, als daß wir die ſo mannigfaltig geſtalteten Erdräume in dieſer Hinſicht richtig beurteilen könnten. Dazu kommt noch der Umſtand, daß die marine Eroſion durch Brandung und Wellenſchlag nur ganz oberflächlich

geschätzt werden kann, da hierfür jede rechnungsmäßige Grundlage fehlt. Endlich ist noch zu berücksichtigen, daß ungeheure Strecken der Erdoberfläche gar keine Flüsse und mithin kein Gesteinszerreibsel ins Meer schicken; das riesige Gebiet der abflußlosen Seen in Osteuropa und im westlichen und mittleren Asien, fast ganz Nordafrika[1] und Arabien, ein bedeutendes Gebiet von Nordamerika zwischen der Sierra Nevada und dem Felsengebirge, endlich der größere Teil von Neuholland gehören hierher (s. Abbildung, S. 588). In diesen Gebieten kann nur der Wind an der Erniedrigung des Landes arbeiten, und auch über die ziffermäßige Bedeutung dieser Leistung wissen wir nichts. Aber selbst wenn die Zahlen für die jetzt stattfindende Abtragung annähernd genau wären, würden doch alle Kombinationen über die Zeit, die zur Einebnung der Kontinente erforderlich wäre, falls kein Ersatz durch tektonische Aufrichtung und vulkanische Aufschüttung geschaffen würde, höchst problematisch sein, da natürlich mit der zunehmenden Erniedrigung der Festländer und der dadurch bedingten Abnahme des Gefälles der Flüsse die Zerstörung sehr verlangsamt würde.

Schon bei den bisher besprochenen Kombinationen war die Basis sehr unsicher, und in viel höherem Maße muß das von den Versuchen gelten, aus der Gesamtmenge der auf der Erde abgelagerten Sedimente die Dauer der Zeit zu berechnen, die seit dem ersten Beginn der Ablagerung geschichteter Gesteinsmassen verflossen ist. Wir kennen weder die Menge des Materials, das dem Meere jährlich zugeführt wird, noch die durchschnittliche Mächtigkeit der Sedimentärgesteine auf den Festländern. Über die Dicke der Schichtgesteine in dem ozeanischen Teile der Erdkruste sind wir vollends ohne jeden positiven Anhaltspunkt. Die einen nehmen an, daß die Masse der Sedimente in der ozeanischen Erdkruste im großen und ganzen dieselbe sei wie in den kontinentalen Regionen, während von anderer Seite behauptet wird, daß die geographische Lage der großen Meeresbecken sich von allem Anfang gleichgeblieben sei und sich in deren Mitte seit jeher nur sehr unbedeutende Mengen von festen Teilen abgesetzt hätten. Dazu kommt noch, daß wir nicht wissen, welchen Einfluß der Umstand ausübt, daß fortwährend Schichtgesteine zerstört werden und ihr Material neu abgelagert wird, und wir werden daher jeden Versuch, aus vier unbekannten Größen eine fünfte unbekannte zu berechnen, als unnütz und die angeblichen Resultate als illusorisch betrachten müssen. Als das einzige sichere Resultat ergibt sich ein überaus hohes Alter, eine ungeheuer lange Dauer der Abtragungs- und Ablagerungsvorgänge.

[1] Der Schlamm des Nils stammt nicht aus dem nördlichen, sondern aus dem zentralen Afrika.

III. Gesteinsbildung.

7. Schichtgesteine.

Inhalt: Bildung verschiedener Arten von Schichtgesteinen. — Klastische Gesteine. — Bildung von Steinsalz, Gips und Anhydrit. — Ausscheidung von Kalk. — Kalkbildung durch Pflanzen, Mollusken, Stachelhäuter und Korallen. — Entstehung der Korallenriffe und Atolle. — Kalkbildung durch Foraminiferen. Weißer Tiefseeschlamm. — Roter Tiefseethon. Radiolarienschlick. — Der Dolomit.

Bildung verschiedener Arten von Schichtgesteinen.

Es ist oft hervorgehoben worden, daß der gesteigerte Sinn für landschaftliche Schönheit und die Freude an ihr eine Eigentümlichkeit der neueren Zeit sind. Vergeblich sucht man in den Schriftstellern des klassischen Altertums nach so begeisterten Schilderungen der Natur, wie sie uns bei den Neueren überall und oft im Übermaß entgegentreten. Die Ursachen dieser Erscheinung mögen sehr mannigfaltig sein, es mag der Eintritt der germanischen Rassen unter die Kulturnationen und ihr Einfluß auf die geistige Gesamtentwickelung der Menschheit bedeutenden Einfluß in dieser Richtung ausgeübt haben; jedenfalls aber bildet einen der wesentlichsten Gründe der Umstand, daß mit dem Wiederaufleben der Wissenschaften am Schlusse des Mittelalters die Natur mehr und mehr Gegenstand eingehender Studien wurde. Die gewaltige Entwickelung der Naturforschung in der Neuzeit mußte notwendiger Weise eine solche Wirkung ausüben, weil die Aufmerksamkeit mehr in diese Richtung gelenkt war, und weil mit der Kenntnis der Natur auch das Verständnis dafür wuchs.

Es verhält sich mit der Anschauung einer Landschaft wie mit der eines Kunstwerkes, das der Kenner mit weit größerem Genuß betrachtet als der Laie; auch die Schönheit der Natur ist dem Kundigen vor allen erschlossen. Namentlich der Geolog, der den Bau der Erdrinde aus ihren Oberflächenerscheinungen zu entziffern bestrebt ist, der jede Linie im Relief eines Berges mit sorgsamem Eifer verfolgt und deutet, ist hier vor anderen bevorzugt, denn bei ihm verbindet sich die Freude an schönen und großartigen Szenerien mit der Befriedigung, den Gegenstand seiner Bewunderung verstehen und sich bewußt werden zu können, welche Materialien zur Bildung von Berg und Thal zusammentreten, und welche Kräfte sie zu einem harmonischen Bilde gestalten. Die Gewohnheit, solche Verhältnisse zu beobachten, schärft den Blick, und bald treten

Der Monte Criſtallo bei Schluderbach in Tirol. (Nach Photographie.)

dem Geologen hundert feine Züge im Aufbau einer Landschaft entgegen, die dem Uneingeweihten entgehen; insbesondere übt sich das Auge, die Schichtung sofort zu erfassen, wenn sie auch nur schwach ausgeprägt erscheint.

Wer immer mit einiger Aufmerksamkeit Gesteine in der Natur beobachtet hat, dem ist schon da und dort aufgefallen, daß Kalke, Sandsteine, Schiefer ꝛc. so angeordnet waren, daß sie ihrer ganzen Masse nach durch parallel laufende Klüfte in weithin sich ausdehnende Bänke oder Schichten geteilt waren. In vielen Fällen ist die Erscheinung sehr deutlich (s. nebenstehende Abbildung), in anderen dagegen tritt sie mehr zurück und ist namentlich, wenn viel Vegetation vorhanden ist, für den Ungeübten nicht gleich auf den ersten Blick zu bemerken; an Felsmassen, die die Schichtung kaum erkennen lassen, verrät sie sich oft dem Beobachter durch das Auftreten paralleler Streifen von Vegetation oder im Hochgebirge von Schnee (s. die beigeh. Tafel „Der Monte Cristallo bei Schluderbach in Tirol").

Cañon von Lodore im Uintagebirge, Nordamerika. (Nach Clarence King.)

Die Schichtung ist charakteristisch für alle aus dem Wasser abgesetzten Gesteine; sie bezeichnet uns die aufeinander folgenden Lagen von Material, die sich niedergeschlagen haben. Denken wir uns z. B. einen See, in den ein Fluß oder Bach mündet, so wird dieser zerriebene Teile der Gesteine, durch die er fließt, mit sich bringen und sie in dem See zu Boden sinken lassen, wo das Wasser nicht bewegt ist und daher die suspendierten Teile nicht mehr schwebend erhalten kann. Der Fluß wird im Sommer bei trockenem Wetter etwa nur feinen Schlamm führen und diesen am Grunde des Wasserbeckens niederfallen lassen; tritt aber nach starken Regengüssen eine Schwellung ein, so wird das kräftiger strömende Wasser auch Sand mitzureißen im stande sein. Wir finden dann über jener ersten thonigen

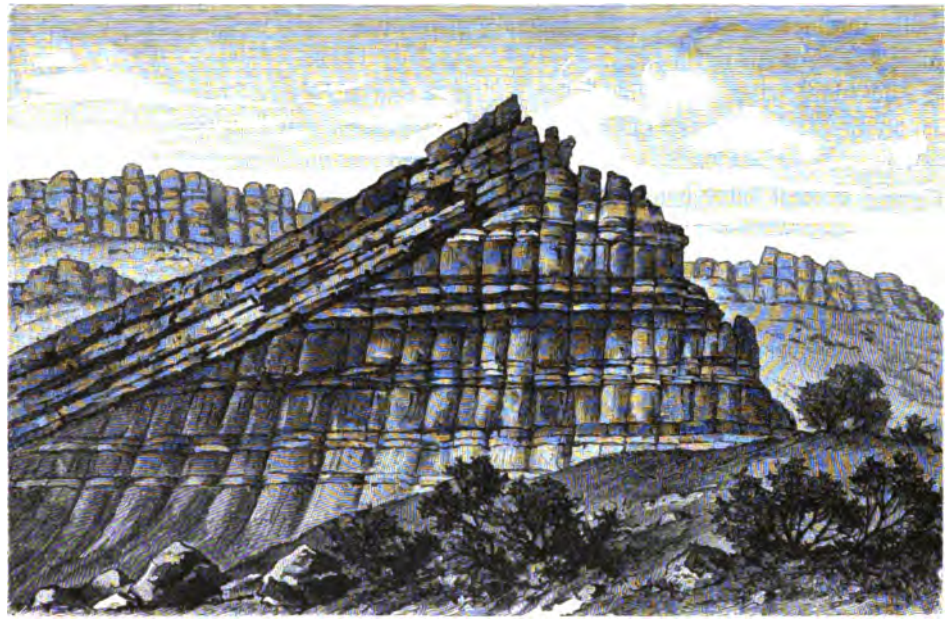
Schicht eine zweite von thonigem Sand, über der, wenn der Fluß wieder infolge schöner Witterung auf niedrigen Stand zurückgegangen ist, eine zweite Thonschicht folgt. Im Frühling, zur Zeit der Schneeschmelze, werden größere Sandmassen und wohl auch Gerölle herbeigeführt, und so sehen wir ein System von Schichten aus wechselndem Material entstehen. Ähnliche Bildungen gehen überall unter Wasser vor sich, wo dieses nicht eine so starke Strömung oder sonstige Bewegung besitzt, daß keine festen Teile aus ihm niedersinken können.

Die Bildung von Schichten aus dem vom Wasser abgesetzten Material, wie wir sie eben geschildert haben, ist meistens, aber nicht ausschließlich an einen Wechsel in der Beschaffenheit der niedersinkenden Stoffe gebunden; auch wenn diese die gleichen bleiben, bedingt zeitweilige Unterbrechung oder nur Verlangsamung der Zufuhr die Bildung horizontaler Fugen und damit die Entwickelung einer Schichtung. Die Mächtigkeit der einzelnen Schichtbänke ist sehr verschieden; man findet alle möglichen Übergänge von den feinsten Plättchen bis zu mehrere Meter dicken Lagern, ja es kann vorkommen, daß der Abstand zwischen beiden Grenzflächen einer Schicht so groß ist, daß er mit der Mächtigkeit der gesamten Gesteinsmasse zusammenfällt. In solchen Fällen sieht man an Felswänden oder in Steinbrüchen, wo derartige Gesteine entblößt sind, gar keine Schichtung und bezeichnet daher solche Bildungen als ungeschichtet, obwohl dies streng genommen nicht ganz richtig ist. Die einzelnen Bänke behalten oft auf große Entfernungen hin ihre Mächtigkeit bei, oft aber kommt es auch vor, daß die Bänke da an-, dort abschwellen und sich unter Umständen ganz verlieren oder „auskeilen“ (s. Abbildungen, S. 51 und 52). Da der Boden des Meeres und der großen Seen der Hauptsache nach horizontal ist oder nur eine überaus schwache, dem Auge auf kurze Strecken nicht sichtbare Neigung hat, so ist auch die ursprüngliche Lage der Schichten fast immer horizontal und nur unter gewissen Verhältnissen schon ursprünglich unter einem Winkel geneigt. Wo ein Bach Gerölle oder groben Sand in einen See mit steilen Ufern ergießt oder aus einem hohen Seitenthal in ein breites Hauptthal ausschüttet, oder wo sonst infolge lokaler Verhältnisse Material vom Wasser auf einer schrägen Unterlage abgelagert wird, da sind auch die Schichten geneigt (s. Abbildung, S. 593); doch gehören Vorkommnisse dieser Art namentlich aus sehr alten Zeiten zu den seltenen Ausnahmen. Um so häufiger kommt es dagegen vor, daß ursprünglich horizontale Schichten in späterer Zeit durch die mit der Gebirgsbildung verbundenen Vorgänge aufgerichtet werden und nun eine mehr oder weniger geneigte Lage einnehmen. Noch eine andere Veränderung erleiden Schichtgesteine unter dem Einfluß der Gebirgsbildung: durch den seitlichen Druck können in sprödem Material Systeme von parallelen Klüften und Sprüngen entstehen, die in ganz ähnlicher Weise wie die Schichtfugen die ganze Gesteinsmasse in Bänke teilen, während bei biegsamen Ablagerungen eine falsche oder transversale Schieferung gebildet wird, die die wahren Schichten unter einem spitzen Winkel schneidet (s. S. 349). Oft ist die Umlagerung der Teilchen so vollkommen, daß die transversale, erst sekundär erworbene Schieferung stärker hervortritt als die ursprüngliche Schichtung, die selbst gänzlich verwischt werden kann. Wo verschiedene Gesteine oder mindestens verschieden gefärbte Schichten miteinander wechsellagern, kann man sekundäre Schieferung und ursprüngliche Schichtung leicht unterscheiden; wo dies aber nicht der Fall ist, vermag man oft nur mit der größten Aufmerksamkeit die wahre Natur der Gesteinsfugen zu erkennen.

In ungeheuern Massen bedecken geschichtete Gesteine (Flözgesteine, Sedimentärgesteine) den größeren Teil der festen Erdoberfläche, und mannigfach ist ihr Charakter. Schwebende Teile, Thonschlamm, Sand, Gerölle, vulkanische Asche sinken im Meere, in Seen oder Flüssen zu Boden und bilden *mechanische Absatzgesteine*, während kohlensaurer Kalk, Gips, Kochsalz und andere im Wasser gelöste Substanzen auskristallisieren oder sich als *chemisch gebildete Sedimente* niederschlagen. Und während so die unorganischen Kräfte der Natur an der Arbeit sind,

diese minerogenen Gebilde abzulagern, liefern Tier- und Pflanzenreich in reichlichster Weise das Material zu den organogenen Gesteinen. Die unscheinbaren Pflänzchen der Torfmoore, die üppig wuchernde Vegetation tropischer Urwälder und Mangrovesümpfe, zusammengeschwemmte Treibhölzer und niedersinkende Wasserpflanzen wandeln sich zu Mineralkohlen um, die Kalkschalen zahlloser Tiere häufen sich zu ungeheuern Massen zusammen, ebenso wie die Kieselgerüste niedrig organisierter Lebewesen in gewissen Teilen des Ozeans den Boden bedecken.

Zwischen diesen Arten von Gesteinen bestehen aber in der Natur keine scharfen Grenzen; kein organogenes Gestein ist frei von mechanischen Beimengungen, ebenso enthält jede mechanische Absatzbildung wechselnde Mengen von organischer Substanz, und auch die chemischen



Vulkanischer Tuff, auf geneigter Unterlage abgesetzt; aus dem Yellowstone-Thal in Nordamerika. (Nach Hayden.) Vgl. Text, S. 592.

Absätze sind wohl kaum jemals gänzlich rein. So bedeutend ist das Ineinandergreifen der Materialien, daß manche Gesteine mit demselben Recht in die eine wie in die andere Gruppe eingereiht werden könnten.

Der Hauptbildungsraum für fast alle diese Vorkommnisse ist der Ozean, und ihm verdankt die große Mehrzahl aller Sedimentgesteine ihre Entstehung. Wohl bilden sich auch auf dem Festlande, in Flüssen und Seen und selbst auf dem trockenen Boden mannigfaltige Ablagerungen, aber diese treten schon ihrem Umfange nach sehr gegen die Sedimente des Meeres zurück und verlieren ferner dadurch sehr wesentlich an Bedeutung, daß sie in viel höherem Grade als die Meeresbildungen der Denudation ausgesetzt sind. Mit wenigen Ausnahmen sind nur aus den jüngsten Epochen der Erdgeschichte Festlandsbildungen in größerer Vollständigkeit erhalten geblieben.

Klastische Gesteine.

Gerölle, Konglomerate und Breccien, Sand und Sandsteine, Thon und seine Abänderungen sind die hauptsächlichsten minerogenen Gesteine, die durch Zusammenschwemmung vom

Wasser und von der Luft fortbewegter fester Teile entstehen, sogenannte mechanische Sedimente oder klastische (von κλαίω [klaio], d. h. ich zerbreche) Gesteine. Verglichen mit der Mannigfaltigkeit des Urgebirges, der vulkanischen, chemischen und organogenen Gesteine, aus deren Zersetzung und Abschwemmung klastische Ablagerungen hervorgehen, erscheint die Zusammensetzung dieser Gesteine sehr einförmig, denn es sind doch nur Quarzsand und Thonerde, die die Hauptmasse des klastischen Materials bilden. Die Ursache dieser Erscheinung ist in den Vorgängen bei der Verwitterung und dem Transport der Gesteine zu suchen. Die leicht zersetzbaren Mineralien werden vom Wasser gelöst, und nur die schwer zersetzbaren bleiben zurück und werden mechanisch weiter bearbeitet. Was etwa von leichter löslichen Stoffen bei der ersten mechanischen Aufbereitung nicht zerstört worden ist, wird bei den folgenden Prozessen gelöst, und so bleiben schließlich nur die am schwersten löslichen Stoffe, Quarz und Thon, zurück und überwiegen daher in allen klastischen Ablagerungen.

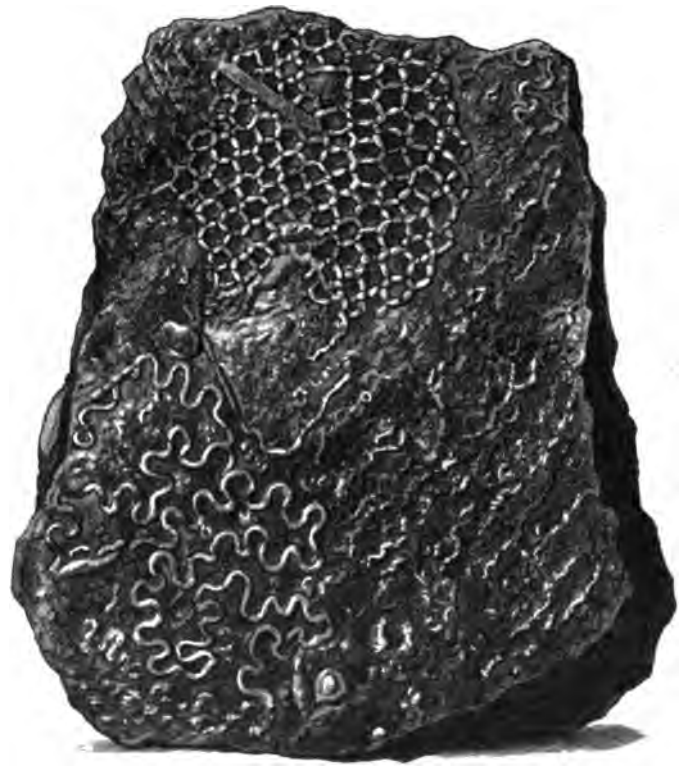
Auch die Transportkräfte üben eine scheidende und auslesende Thätigkeit aus. Derselbe Fluß, der im Gebirge grobe Geschiebe führt, verliert in der Ebene seine Geschwindigkeit, er befördert nur noch kleinere Gerölle, weiter unten nur Sand und endlich nur noch feinsten Schlamm. Die Flüsse bringen daher hauptsächlich Thonschlamm ins Meer, nur kleinere, aus gebirgigen Gegenden unmittelbar in das Meer mündende Wasserläufe schieben grobes Geröll in die See. Dieselben Stoffe wie aus den Flüssen erhält das Meer durch die Einwirkung der Brandung auf die Küste; die Wogen zerstören deren Gestein, und das Zerreibsel liefert Material für die Schichtbildung. Auch die Bewegung des Meerwassers zieht nun eine Sonderung der Geschiebe nach sich. *Gerölle* können nicht weit fortgeschafft werden, sie bilden ganz nahe der Stelle, an der sie ins Meer gelangen, Bänke, und aus diesen entsteht *Konglomerat*, wenn die einzelnen Rollsteine durch ein Bindemittel zu einer festen Masse vereinigt werden. Als *Breccie* bezeichnet man dagegen Gebilde, die aus eckigen, miteinander verkitteten Stücken zusammengesetzt sind.

Auch der Sand entfernt sich nicht weit von der Küste, er bildet hier bedeutende Ablagerungen. Dasselbe war auch in früheren Perioden der Erde der Fall, und vielfach haben sich aus jenen älteren Zeiten Schichten von losem Sand erhalten; weit häufiger aber erhärten sie allmählich zu *Sandstein*, den man als thonigen Sandstein, Kalksandstein, Quarzsandstein (Quarzit) bezeichnet, je nach der Natur des Bindemittels, das die Körner zusammenhält.

Weiter als der Sand wird der Thonschlamm ins Meer getrieben; er bildet das Material für die Schichten von *plastischem Thon*, die wir in vielen und namentlich in jüngeren Formationen finden, und die dann teilweise durch die Wirkung von Druck Schieferstruktur annehmen und unter Ausbildung mikroskopischer Kristallelemente zu Schieferthonen und Thonschiefern erhärten. Wenn auch der fein zerteilte Thonschlamm auf größere Entfernung von der Küste fortgespült wird als Sand oder Gerölle, so geht er doch nicht bis in die Mitte der Meeresbecken, sondern bildet um die Kontinente und kontinentalen Inseln einen verhältnismäßig schmalen Gürtel, der die Breite von 40 geogr. Meilen in der Regel nicht erreicht. Dies hängt damit zusammen, daß der Salzgehalt des Seewassers einen ungemein raschen Niederschlag des mechanisch getragenen Schlammes bewirkt. Während ein Glas mit schlammigem Flußwasser monatelang stehen muß, ehe die Trübung schwindet, fällt der Niederschlag in einer Salzlösung in wenigen Minuten zu Boden; selbst starke Meeresströmungen sind daher nicht im stande, Schlamm weit hinaus ins Meer zu tragen. Deshalb werden klastische Gesteine fast ausschließlich im Küstengebiet und in der Seichtsee der Kontinentalstufe gebildet, und auch alle solchen Ablagerungen früherer Epochen verraten deutlich ihre Beziehungen zur Seichtsee und zum Küstengürtel.

Manche Sandsteinbänke zeigen Diagonalschichtung, sie zerfallen in feine, dichte, nach der Richtung der beiden Diagonalen gestellte Sandschichten, eine Erscheinung, die wohl nur erklärt

werden kann, wenn man sich derartige Sandsteine aus Sanddünen an der Küste entstanden denkt. Solche Dünen haben ja stets eine deutliche Diagonalschichtung; wenn sie nun ihre Lage verändern und einen Teil ihrer Basis am alten Ort zurücklassen, so bilden sich Sandbänke mit Diagonalschichtung. Auch die Oberfläche der Bänke beweist nicht selten deren küstennahe Entstehung, denn oft genug sieht man auf den Schichtflächen langgezogene, meist etwas hin und her gebogene wellige Erhöhungen, mit dazwischen gelegenen Vertiefungen, sogenannten Wellenfurchen, die der Einwirkung des Wellenschlags auf den sandigen Grund der Küstenregion ihre Ausbildung verdanken. Auch Eindrücke von Regentropfen und durch Gesteinsmasse verdrängte Steinsalzkristalle sind nicht selten. Wo sandige Bänke auf thonigen ruhen, treten ähnliche Erscheinungen auf. Die Thonschichten bekommen ähnlich wie der Schlamm einer austrocknenden Pfütze Trokkenrisse; wenn sich darauf Sand ablagert, so dringt er auch in jene Trockenrisse ein, die sich nun auf der Unterseite der Sandsteinschicht als Leisten ausprägen. In derselben Weise bleiben die Fußspuren von Tieren erhalten, die über die weiche Thonschicht hinschritten, und bei manchen Sandsteinen sind die Schichtflächen über und über bedeckt mit den sonderbarsten Wülsten, Ringen, Warzen, zickzack-, stern- und zopfartigen Hervorragungen, deren Entstehung zwar nur zum geringsten Teil mit Sicherheit erkannt ist, die aber ohne Zweifel als Spuren des organischen Lebens der küstennahen Zone oder der Seichtsee aufzufassen sind. Manche von diesen Zeichnungen, die im allgemeinen als „Hieroglyphen" zusammengefaßt werden, hat man mit eigenen Namen belegt, wie die oben abgebildete bienenwabenähnliche Form, die Palaeodictyon genannt und wohl auch, doch mit Unrecht, als Spongie gedeutet worden ist; obwohl man Wellenfurchen, Kriechspuren ꝛc. auf allen Sandsteinen und Thonen, von der ältesten fossilführenden Formation angefangen, beobachtet hat, kommen doch diese Erscheinungen in keiner Ablagerung häufiger vor, als im sogenannten Flysch (s. S. 359), der auch an verzweigten, algenartigen Formen besonders reich ist. Diese wurden lange Zeit als Algenreste betrachtet und mit entsprechenden Namen versehen, es hat sich aber gezeigt, daß die angeblichen Algen im Gestein mit dem angenommenen Wurzelende nach oben, mit den Ästchen nach unten gelegen und mit derselben Gesteinsmasse ausgefüllt sind, aus der die aufruhende Bank besteht. Daher sind es gewiß keine Algenreste, sondern aller Wahrscheinlichkeit nach Ausfüllungen von verzweigten Wurmgängen.



Eocäner Hieroglyphensandstein von Troppberg in Niederösterreich. (Nach Photographie von Th. Fuchs.)

Im einzelnen zeigen die Sandsteine und Thone je nach ihren Beimengungen, ihrer Fossilführung, Farbe 2c. mannigfaltige Erscheinungen, die wir hier außer acht lassen müssen. Nur auf eine Frage müssen wir noch etwas näher eingehen, nämlich ob sich Kalksteine auf diesem Wege bilden können. Wir haben gesehen, daß die meisten Flüsse den Kalkschlamm, den sie etwa in ihrem Oberlauf führen, im unteren Teil ihres Laufes auflösen, oder daß, wenn dies nicht vollständig der Fall sein sollte, die Reste vom Meerwasser gelöst werden. Trotzdem sind unter ganz abnormen Verhältnissen Ausnahmen in dieser Beziehung möglich. Wenn ein Fluß, dessen ganzes Gebiet überaus kalkreich ist, seine mit Kalkschlamm beladenen Fluten nicht ins offene Meer, sondern in eine beschränkte Bucht ergießt, die nur wenig Verbindung nach außen hat, so kann hier dieses Material in so reichlicher Menge vorhanden sein, daß es nicht gelöst wird, sondern sich absetzt und später zu Kalkstein erhärtet; es ist z. B. aus mehrfachen, hier nicht zu erörternden Gründen sehr wahrscheinlich, daß die berühmten lithographischen Schiefer von Solnhofen einem derartigen Vorgang ihre Entstehung verdanken.

Weit häufiger als im Meere findet dieser Vorgang in Binnenseen statt, deren beschränkte Wassermenge oft nicht im stande ist, die Menge des von einmündenden Flüssen oder Bächen mitgebrachten Kalkes zu lösen; er schlägt sich als ein feiner, kreideartiger Schlamm am Grunde nieder. Ziemlich häufig finden wir auch in älteren Ablagerungen feinkörnige, zarte, oft leicht zerreibliche Kalkgesteine mit Süßwasserkonchylien, die offenbar in dieser Weise gebildet sind.

Bildung von Steinsalz, Gips und Anhydrit.

Während sich mechanische Ablagerungen im Meere in großer Menge bilden, ist die Rolle, die die direkte Auskristallisierung aus dem Wasser und chemische Ausscheidung daselbst spielen, sehr unbedeutend; nichts kann deren geringe Bedeutung besser anschaulich machen als der Umstand, daß die großartigen Tiefseeuntersuchungen der Neuzeit im offenen Meere nicht einen einzigen Punkt entdecken konnten, wo der Boden von einem derartigen Absatz bedeckt gewesen wäre. Um diesen Gegenstand beurteilen zu können, müssen wir zunächst die Zusammensetzung des Meerwassers kennen lernen und erfahren, welche Bestandteile darin gelöst sind.

Das Meerwasser ist bekanntlich reich an verschiedenen Salzen; man kann rechnen, daß es an solchen in 1 kg über 34 g (34,77 im Mittel aus mehreren Analysen) enthält, die sich in folgender Weise auf einzelne Substanzen verteilen:

Kochsalz (Chlornatrium)	27,18	Chlorkalium	0,61
Chlormagnesium	3,85	Brommagnesium	0,05
Schwefelsaure Magnesia	2,27	Doppeltkohlensaurer Kalk	0,04
Schwefelsaurer Kalk (Gips) . . .	1,27		34,77

Außerdem enthält es Spuren von verschiedenen anderen Substanzen.

Von dieser durchschnittlichen Zusammensetzung kommen allerdings bisweilen Abweichungen vor; an der Mündung von Flüssen mischt sich das leichtere Süßwasser verhältnismäßig langsam mit dem schweren Salzwasser, es schwimmt auf nicht unbeträchtliche Strecken obenauf, so daß wir dann eine Oberflächenschicht von schwächer gesalzenem Wasser finden. Ein ähnliches Verhältnis findet in den um den Pol gelegenen Gegenden bisweilen statt, wenn zahlreiche Eisberge schmelzen, was ebenfalls eine Verdünnung der obersten Wasserschicht hervorbringt. Anderseits findet in heißen Gegenden eine starke Verdunstung von Wasser an der Meeresoberfläche statt, und dann ist hier der Salzgehalt etwas größer. Im großen sind aber diese Abweichungen überaus geringfügig, so daß wir vor der merkwürdigen und höchst bedeutungsvollen Thatsache

stehen, daß bis auf ganz minimale Abweichungen die Zusammensetzung des Wassers im offenen Meere überall dieselbe ist, und zwar infolge der fortwährenden Wasserzirkulation im Ozean sowie der gesetzmäßig stattfindenden Diffusion, die eine Ausgleichung des Salzgehaltes bedingt.

Größere Abweichungen kommen natürlich in Binnenmeeren vor, die nur durch eine enge Wasserstraße nach außen kommunizieren, wie die Ostsee, das Mittelmeer, das Schwarze Meer, das Rote Meer ꝛc. Das letztere erhält fast gar kein süßes Wasser durch Flüsse, dagegen ist die Verdampfung an der Oberfläche infolge des heißen Klimas außerordentlich stark, und deshalb findet sich hier der größte Gehalt an Salz, der bisher in irgend einem Teil des Ozeans beobachtet worden ist: er beläuft sich auf mehr als 40 g in 1 kg Wasser (zwei Bestimmungen ergaben 43,15 und 41,81). Auch im Mittelländischen Meer beträgt die Verdunstung mehr als die Zufuhr von süßem Wasser, obwohl es eine Reihe sehr bedeutender Flüsse aufnimmt, den Nil, den Po, den Rhône, den Ebro und viele andere; infolgedessen ist auch hier der Gehalt an Salzen höher als im offenen Ozean. Entgegengesetzt verhält es sich mit der Ostsee und dem Schwarzen Meer, die so bedeutende Zuflüsse erhalten, daß ihr Wasser sehr schwach gesalzen ist und sich in dieser Beziehung sehr weit von der Normalzusammensetzung entfernt.

Denken wir uns das ganze Wasser des Meeres verdampft, so würde eine Salzlage von durchschnittlich etwa 100 m Dicke den Boden bedecken. Selbst wenn wir die Zusammensetzung des Wassers aus dem Roten Meere betrachten, ergibt sich die absolute Unmöglichkeit, daß im offenen Meere irgend welche von den gelösten Stoffen direkt auskristallisieren; im Gegenteil, das Meer ist im stande, eine sehr viel größere Menge davon aufzunehmen. Wenn aber auch die Annahme einer Gesteinsbildung auf diesem Wege im freien Ozean gänzlich ausgeschlossen ist, so können doch unter Umständen in der Nähe der Küste und namentlich in beschränkten Buchten Verhältnisse eintreten, unter denen sich solche Vorgänge abspielen. Für die Beurteilung der Art und Weise, wie sich die festen Substanzen aus verdampfendem Meerwasser ausscheiden, sind die Versuche wichtig, die von Uziglio angestellt worden sind: er überließ Wasser des Mittelländischen Meeres in seinem Laboratorium allmählicher Verdunstung und bestimmte die Reihenfolge, in der die verschiedenen Salze auskristallisierten. Die ersten Ausscheidungen waren geringe Mengen von Eisenoxyd, dann von kohlensaurem Kalk und kohlensaurer Magnesia; nachdem etwa $^4/_5$ der ursprünglichen Flüssigkeitsmenge verdunstet waren, schieden sich viel Gips und der Rest des kohlensauren Kalkes aus, dann folgte im weiteren Verlauf noch eine geringe Menge Gips, die Hauptmasse des Kochsalzes mit sehr wenig Chlormagnesium, Bromnatrium und schwefelsaurer Magnesia. Der Versuch wurde nun unterbrochen, und es blieb eine „Mutterlauge" zurück, die nur noch etwa $^1/_{62}$ der verwendeten Wassermenge ausmachte, aber noch $^1/_6$ der ganzen Salzmenge gelöst enthielt; kohlensaurer Kalk und Gips waren jedoch ganz daraus verschwunden, Kochsalz (Chlornatrium) machte nicht mehr ganz $^1/_3$ des zurückbleibenden Salzes aus, während alle leicht löslichen Salze (Chlormagnesium, Chlorkalium, Bromnatrium, schwefelsaure Magnesia) verhältnismäßig sehr stark vertreten waren.

Dieser Versuch stellt insofern ein abnormes Verhältnis dar, als dazu das sehr kalkreiche Wasser des Mittelmeeres gewählt wurde; infolgedessen schied sich zuerst kohlensaurer Kalk aus, während aus normalem Meerwasser, wie die Versuche von G. Bischoff zeigen, zuerst Gips und erst viel später kohlensaurer Kalk abgeschieden wird. Von dieser einen Abweichung abgesehen, müssen ähnliche Verhältnisse wie bei dem Experiment von Uziglio auch in der Natur eintreten, wenn durch irgend einen Vorgang eine Bucht vom Meere abgetrennt wird, die keine oder nur so wenige Zuflüsse von süßem Wasser enthält, daß eine allmähliche Austrocknung erfolgt. Es schlagen sich dann die Salze in der angegebenen Reihenfolge nieder, und es kann sich auch ein solcher Absatz unter besonders günstigen Verhältnissen bis in spätere geologische Perioden erhalten.

Ein solcher Vorgang ergibt aber nie sehr beträchtliche Massen von Salzen und reicht jedenfalls nicht hin, so ungeheure Anhäufungen, namentlich von Kochsalz, zu erklären, wie sie viele unserer Bergwerke aufgeschlossen haben. Man braucht sich nur der überraschenden Resultate zu erinnern, die die Untersuchungen der gewaltigen unter der Norddeutschen Ebene gelegenen Steinsalzlager ergeben haben; das Bohrloch von Sperenberg bei Berlin hat eine 1182 m dicke Lage von Steinsalz durchsenkt, ohne deren untere Grenze zu erreichen, und es ist klar, daß einfach durch Verdampfen einer beschränkten Wasserfläche eine solche Anhäufung von Salzen nicht stattfinden kann. K. E. von Baer hat uns in seinen „Kaspischen Studien" ein äußerst merkwürdiges Verhältnis geschildert, das den Weg zeigt, den die Natur bei der Bildung der gewaltigen Steinsalzmassen eingeschlagen hat. Am östlichen Ufer des Kaspischen Meeres befindet sich eine ausgedehnte Bucht, der Kara Bugas, ein weites Becken von etwa 3000 nautischen Quadratmeilen Oberfläche, das durch eine Barre vom Kaspischen Meere getrennt ist, so daß nur durch eine schmale und seichte Öffnung eine Verbindung hergestellt wird. In den Kara Bugas ergießt sich kein Fluß und kein Bach, er liegt rings umgeben von der regen- und wasserlosen Turkmenensteppe, deren trockene Winde über seine Oberfläche hinstreichen und eine sehr starke Verdunstung hervorrufen. Ohne Zweifel würde das Becken verhältnismäßig rasch austrocknen, wenn nicht ununterbrochen vom offenen Kaspischen Meere neues Wasser einströmte und den Verlust ersetzte. Aber auch das nachströmende Kaspiwasser verdunstet, nur sein Gehalt an gelösten Substanzen bleibt dem Kara Bugas, der infolgedessen schon 29,5 Prozent Salze in seinem Wasser enthält und an seinem Boden fortwährend Steinsalz und Gips auskristallisiert. Wie in einer riesigen Salzpfanne verdampft ununterbrochen Wasser des Kaspischen Meeres im Kara Bugas, der sich schließlich ganz mit Salzen füllen wird, trotz einer mächtigen Unterströmung gesalzenen Wassers, die aus dem Kara Bugas in den Kaspisee geht, und deren Bedeutung, wie sich durch neuere Untersuchungen gezeigt hat, früher wesentlich unterschätzt wurde. Auf diesem Wege können Salzlager von kolossaler Mächtigkeit und Ausdehnung gebildet werden; wäre z. B. am südlichen Ende des Roten Meeres, an der Straße Bab el Mandeb, ein unterseeischer Querriegel vorhanden, der nur seichtes Wasser über sich hätte, so würde endlich das ganze Becken zu einer ungeheuern Salzformation werden.

Durch derartige Vorgänge können Gesteine unter ganz bestimmten lokalen Verhältnissen unmittelbar aus dem Meerwasser auskristallisieren. Kalksteine entstehen auf diese Weise jedoch nur im allerbeschränktesten Maße, aber um so großartiger sind die Massen von schwefelsaurem Kalk, die sich entweder in chemischer Verbindung mit Wasser als Gips oder ohne solches als Anhydrit ablagern. Der reine Gips bildet meist weiße, kristallinische Massen von körniger oder faseriger Struktur, sehr häufig ist er jedoch durch fremde Bestandteile verunreinigt. Er ist so weich, daß man ihn mit dem Fingernagel ritzen kann, wodurch er sich von dem merklich härteren Anhydrit leicht unterscheidet, der auch ein höheres spezifisches Gewicht besitzt. Obwohl es keinem Zweifel unterliegen kann, daß sowohl Gips als Anhydrit sich größtenteils aus dem Meere ausgeschieden haben, so bietet doch die Feststellung der Bedingungen, unter denen sich das eine und das andere Gestein gebildet hat, Schwierigkeiten. Als sehr wahrscheinlich kann die Vermutung bezeichnet werden, daß bei bedeutendem Druck und aus einer sehr konzentrierten Kochsalzlösung, d. h. unter Verhältnissen, wie sie in einem verdampfenden Wasserbecken von einiger Tiefe vorkommen, der schwefelsaure Kalk als Anhydrit auskristallisiert; doch können hierüber nur direkte Experimente Aufschluß geben, die noch nicht gemacht worden sind.

Unmittelbar an der Oberfläche der Erde, „am Tage", wie der Bergmann sagt, kommt Anhydrit fast gar nicht vor, sondern nur Gips; aber wenn man mächtige Lager des Gipses in die Tiefe verfolgt, so findet man sehr häufig, daß hier an seiner Stelle Anhydrit vorhanden ist.

Es erklärt sich dies daraus, daß sich der Anhydrit bei Zutritt von Wasser in Gips umwandelt, ein Vorgang der Gesteinsveränderung, der bereits früher (S. 356 und 448) besprochen wurde.

Steinsalz tritt entschieden seltener in der Natur auf als Gips und Anhydrit, da es im Wasser weit leichter löslich ist. Infolgedessen geht in sehr vielen Fällen die Konzentration eindampfender Meeresteile nur so weit, daß sich der schwefelsaure Kalk ausscheidet und das weitere Fortschreiten bis zur Auskristallisierung des Chlornatriums durch irgend eine geologische Veränderung unterbrochen wird; anderseits wird schon abgesetztes Steinsalz in einer späteren Periode leichter wieder aufgelöst, wenn es nicht durch eine darüber abgelagerte Decke von wasserdichten Gesteinen, z. B. von Thon, vor der Zerstörung geschützt wird. Noch weit mehr wirken diese Umstände hindernd auf das Vorkommen von Massen derjenigen Salze des Meerwassers, die noch leichter löslich sind, des schwefelsauren Magnesiums, des Chlormagnesiums und des Chlorkaliums; zur Ablagerung dieser „Mutterlaugensalze" ist es nur selten gekommen, so daß wir nur sehr wenige Fälle dieser Art kennen. Die wichtigsten davon knüpfen sich an die Orte Staßfurt bei Magdeburg und Kalusz am Karpathenrande Galiziens. Hier kommen die genannten Substanzen in verschiedener Art vor, zum Teil zu komplizierten Verbindungen gruppiert, und zwar in der Weise, daß sie über dem Steinsalz liegen, wie das eine notwendige Folge ihrer Bildung ist; die zuerst auskristallisierten schwerer löslichen Substanzen müssen sich natürlich am Boden des eindampfenden Meeresbeckens absetzen, während die später niederfallenden leicht löslichen Körper ein höheres Niveau einnehmen. Diese Lagerstätten zeigen uns dieselbe Erscheinung wie Uziglios Abdampfschale, nur in riesig vergrößertem Maßstabe.

Rasch verdampfende tiefe Buchten, die mit dem Meere nur in geringer Verbindung stehen, zu denen aber über eine Barre hinweg ein steter Nachfluß von Salzwasser stattfindet, haben sicher die meisten und großartigsten Salzlagerstätten geliefert; aber sie sind es nicht allein, die Anlaß zu solchen Bildungen geben, sondern solche können, wenn auch in beschränktem Maße, auch unter anderen Verhältnissen entstehen. Es ist bekannt, daß alle Quellen und Flüsse mineralische Teile gelöst enthalten, deren Zusammensetzung den größten Schwankungen unterworfen ist. Jeder Strom und Bach ändert schon mit den Jahreszeiten seinen Gehalt an gelösten Mineralsubstanzen, und außerdem ist dieser wesentlich bedingt durch die Gesteinsbeschaffenheit des gesamten Areals, aus dem der Flußlauf stammt. Unter den fixen Bestandteilen nimmt fast immer der kohlensaure Kalk die erste Stelle ein[1]; außerdem sind in geringen Mengen andere Salze verschiedener Art vorhanden: schwefelsaurer Kalk, Chlornatrium, Chlorkalium, schwefelsaures Kali, schwefelsaures Natron, schwefelsaure Magnesia 2c.

Bei gewissen Strömen, die dem kalkreichen Juragebirge entstammen, kann der Gehalt an gelöstem kohlensauren Kalk in 100,000 Teilen Wasser bis über 20 Teile steigen, während z. B. die Möll bei Heiligenblut in Kärnten nicht ganz einen, die Ötz bei Vent in Tirol nicht einmal $^1/_2$ Teil kohlensauren Kalk in 100,000 Teilen Wasser enthalten, da sie aus reinem kristallinischen Schiefergebirge kommen. Den Lauf des Jordans umgeben Gesteine, die reich an Kochsalz und ähnlichen leicht löslichen Salzen sind, und diese finden wir reichlich in seinen Gewässern enthalten.

Mündet ein Fluß in einen See, der einen Ablauf hat, so läßt er darin zwar die mechanisch suspendierten Teile zurück; in dem Gehalt an aufgelösten Substanzen erleidet er dagegen meistens keine wesentliche Änderung. Ganz andere Verhältnisse finden wir dagegen in solchen binnenländischen Becken, die in verhältnismäßig trockenen Gegenden liegen, und in denen die gesamte Wasserzufuhr der Flüsse durch Verdunstung wieder verschwindet, so daß kein Ablauf nach dem

[1] Wir sehen dabei von solchen Flüssen ab, die, wie z. B. die Themse, in ihrem unteren Laufe durch die Wirkung der Flut eine Beimischung von Meerwasser enthalten.

Meere stattfindet (s. die Karte auf S. 588). Es sind bekanntlich weite Gebiete unserer Erdoberfläche, die von abflußlosen Seen und ihren Tributären eingenommen werden; vor allen ist es das bekannte zentrale Gebiet, das sich aus dem östlichen Europa durch Asien bis in die Nähe des Stillen Ozeans erstreckt. Im Westen wird diese mächtige Zone eröffnet durch den Kaspisee, in den sich der gewaltigste Strom Europas, die Wolga, ferner der Ural, die Emba, der Terek, der Kur, der Atrek und andere ergießen. Südlich schließt sich das persische Hochland an, dessen geringe Regenmengen ebenfalls in Seen ohne Abfluß Aufnahme finden, wenn sie nicht früher schon verdunsten und versickern; im Osten des Kaspisees liegt der Aralsee. Es folgen der Balchasch-

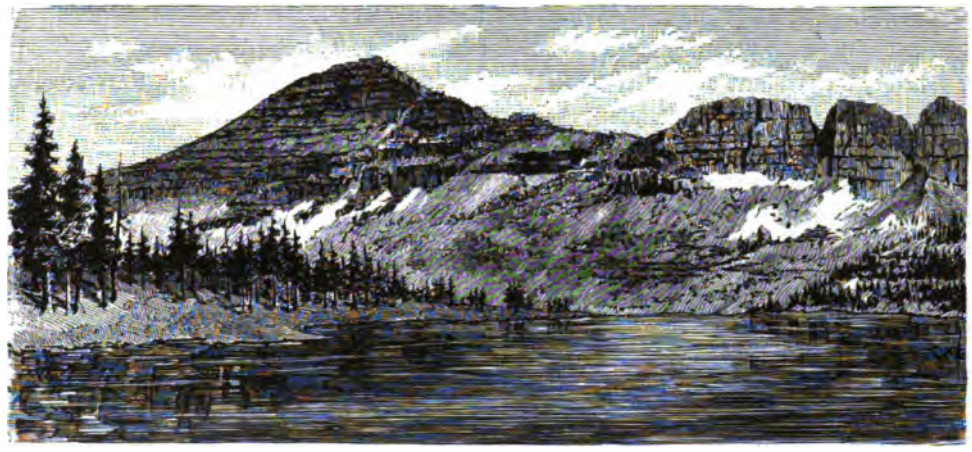
Der Salzsee Dariatscha in Westpersien. (Nach M. Dieulafoy.)

see, der Lob-Nor in der Wüste Gobi und eine Reihe anderer Seen in der Mongolei, in Tibet und in Iran (s. obenstehende Abbildung), bis weit im Osten das Gebiet ohne Abfluß nach dem Meere durch die Systeme des Amur, des Hoangho und des Jantsekiang begrenzt wird. In keinem Teil der Erde wiederholt sich diese Erscheinung in so riesigem Maßstabe. Zwar sendet auch der größte Teil von Syrien und Arabien und fast die ganze nordafrikanische Wüste kein Wasser zum Meer, aber die Mehrzahl dieser Gegenden ist äußerst arm an Niederschlägen, so daß nur ganz vereinzelt Seenbildung vorkommt (Tsadsee, Schotts längs der Südküste des Mittelmeeres, Totes Meer). Bedeutende Gebiete ohne Abfluß, zum Teil mit Seenbildung, liegen ferner im Inneren des australischen Kontinents, endlich im westlichen Teile von Nordamerika zwischen Sierra Nevada und Wahsatchgebirge (s. Abbildung, S. 601); hier ist namentlich der berühmte Salzsee von Utah, an dessen Ufern die Mormonenstadt steht, neben vielen kleineren zu nennen.

Allen diesen abflußlosen Wasserbecken kommt eine gemeinsame Eigenschaft zu, sie sind sämtlich salzig. So gering auch der Gehalt an gelösten Substanzen sein mag, den die Flüsse

mitbringen, so muß doch in dem See eine fortwährende Konzentration dieser Stoffe vor sich gehen; die gesamte einströmende Wassermenge verdunstet, die Salze bleiben, und da dieser Vorgang Jahrtausende hindurch dauert, findet schließlich eine solche Anhäufung statt, daß sie auskristallisieren. Da kohlensaurer Kalk in fast allen Flüssen die erste Rolle spielt, scheidet er sich zunächst aus; allmählich aber sammeln sich auch die übrigen Salze in immer größeren Mengen und endlich bis zu einem solchem Betrage an, daß sich auch die leichter löslichen unter ihnen, wie Chlornatrium oder Kochsalz, schwefelsaure Magnesia oder Bittersalz, in anderen Fällen kohlensaures Natron (Soda) oder Borax und noch andere Verbindungen ausscheiden; verhältnismäßig rasch geschieht dies dann, wenn, wie beim Toten Meer oder bei manchen der Salzseen in den Steppen der unteren Wolga, schon die Zuflüsse starken Salzgehalt führen.

So einförmig die Zusammensetzung des Meerwassers ist, so außerordentlich wechselnd ist sie in den abflußlosen Seen, nicht nur was die Konzentration, sondern auch was die Beschaffenheit



Der abflußlose Lal-See und Mount Agassiz im Uintagebirge in Nordamerika. (Nach Clarence King.)
Vgl. Text, S. 600.

der enthaltenen Bestandteile anlangt; diese ist eben lediglich von der Natur der Stoffe abhängig, die die Zuflüsse aus den Gesteinen, mit denen sie in Berührung kommen, auszulaugen im stande sind. Es können demnach im Laufe der Zeit auf diese Weise Salzlager äußerst mannigfaltiger Art entstehen, die aber, abgesehen von sehr seltenen Ausnahmen, nur eine geringe Mächtigkeit haben. Die Salzmengen, die aus manchen davon gewonnen werden, sind immerhin so bedeutend, daß sie industriell von großer Wichtigkeit sind; so liefert der Eltonsee in der Steppe am Ostufer der unteren Wolga gegen 6 Millionen Pud (1 Pud = 16,38 kg) Kochsalz im Jahre, und ungefähr ebensoviel wird aus dem benachbarten Baskuntschachsee gewonnen. Die Gesamtproduktion aus den Salzseen dieser Gegend kann auf mehr als 15 Millionen Pud veranschlagt werden, aber trotz dieser hohen Zahlen sind diese Vorkommnisse doch vom geologischen Standpunkt aus verschwindend klein, wenn wir sie mit den gewaltigen Salzstöcken der alten Formationen vergleichen.

Wohl das merkwürdigste und allerdings auch das abweichendste Beispiel eines Sees ohne Abfluß bildet das Tote Meer in Palästina. Das ganze Thal des Jordans, das Becken des Toten Meeres, die Depression, die sich von diesem zum Busen von Akabah zieht, sowie diese letztere Bucht selbst entsprechen einer gewaltigen Grabenverwerfung; den tiefsten Teil dieser Linie nimmt das Tote Meer ein, dessen Spiegel 390 m tiefer liegt als der des Mittelmeeres, und dessen Umgebung die tiefste Einsenkung des Festlandes darstellt, die wir überhaupt kennen. Aber auch

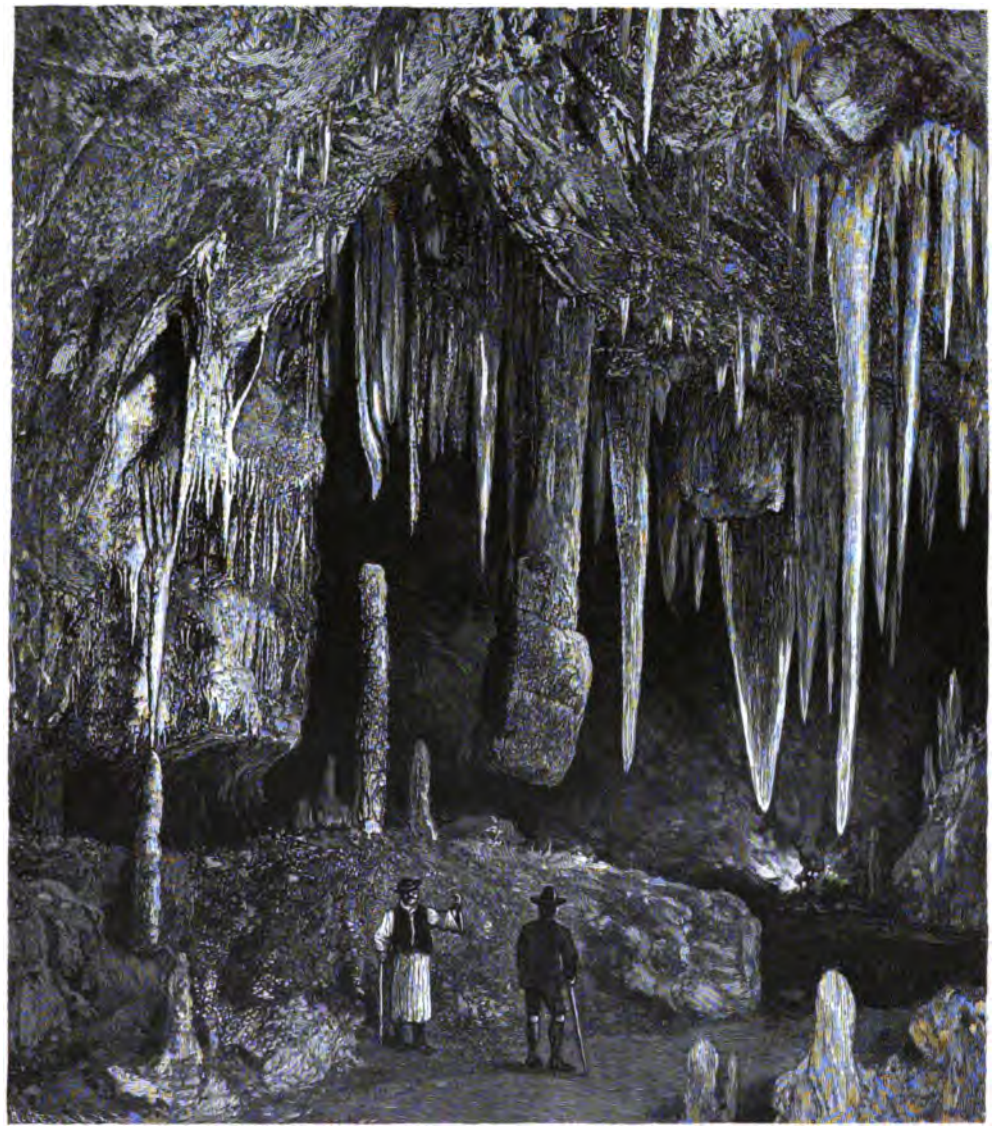
die Tiefe des Wassers ist sehr bedeutend: sie beträgt bis zu 360 m, so daß also hier ganz ausnahmsweise die Möglichkeit zur Bildung sehr mächtiger Salzmassen gegeben ist. Der Salzgehalt ist ungemein groß, besonders in größeren Tiefen weit mehr als an der Oberfläche, und durch die große Menge sehr leicht löslicher Salze, wie Chlorkalium und Chlormagnesium, besonders aber durch riesigen Bromgehalt ausgezeichnet, der bis zu $^7/_{1000}$ ansteigt. Die große Menge der leicht löslichen Salze im Gegensatz zu den schwerer löslichen, wie Kochsalz und Gips, beweist, daß hier die Konzentration schon sehr lange dauert, und daß sich die Hauptmasse der beiden letzteren Bestandteile schon längst am Boden des Sees ausgeschieden hat.

Ausscheidung von Kalk.

Nicht nur aus den Seen, auch aus fließendem Wasser können mineralische Bestandteile auskristallisieren. Vor allen anderen ist hier der **kohlensaure Kalk** zu nennen; dieser ist nur spurenweise in ganz reinem Wasser löslich, weit leichter dagegen, wenn dieses, wie es gewöhnlich der Fall ist, Kohlensäure absorbiert enthält. Die Säure bildet das Lösungsmittel für den Kalk, und dieser scheidet sich wieder aus, wenn jene aus dem Wasser entweicht, was z. B. durch Kochen oder dadurch bewirkt wird, daß die Kohlensäure durch ein anderes Gas, besonders durch gewöhnliche atmosphärische Luft, verdrängt wird. Dazu genügt eine innige Berührung des kohlensäurehaltigen Wassers mit Luft, indem es bei Luftzutritt stark geschüttelt oder beim Herabfallen aus der Höhe zerstäubt wird; das Wasser nimmt Luft auf, die Kohlensäure entweicht, und der von ihr in Lösung gehaltene Kalk scheidet sich aus.

Diese Thatsache erklärt uns sofort in der einfachsten Weise die Entstehung einer der merkwürdigsten Arten der Kalkbildung, der **Tropfsteine** oder **Stalaktiten** (s. Abbildung, S. 603), wie sie die Wandungen der Höhlen im Kalkgebirge oft in zauberhafter Pracht auskleiden. Mit Kohlensäure beladenes Wasser rinnt in feinen Adern durch Klüfte des Gesteins und löst hier Kalk auf, den es mit in die Tiefe führt. Trifft es nun auf seinem Wege nach abwärts auf eine Höhle, in deren Decke die Kluft mündet, so sickert es an einem nach abwärts gerichteten Gesteinsvorsprunge nach unten, verdunstet schon hier teilweise und sammelt sich am unteren Ende des Felsstückchens zu Tropfen, die einer nach dem andern auf den Boden der Grotte fallen, daselbst zerstäuben und dabei den noch übrigen Kalkgehalt, soweit sie ihn nicht schon an der Decke verloren haben, als schönen, weißen Kalksinter abscheiden. Zwar ist das, was der einzelne Tropfen liefert, verschwindend wenig; aber viele Jahrtausende hindurch fällt eine Wasserperle nach der anderen genau in derselben Bahn, so daß sich endlich die gewaltigen Säulen bilden, die von der Decke nach abwärts („Stalaktiten“) oder vom Boden nach aufwärts („Stalagmiten“) wachsen (s. Abbildung, S. 604). Oft begegnet der Stalaktit dem Stalagmiten auf halbem Wege, und dann bilden sie einen hohen, schlanken Pfeiler, der Decke und Boden des Gewölbes verbindet. Steht man in einer Tropfsteinhöhle, so hört man unausgesetzt den Schall der niederfallenden Tropfen und sieht, wie sie einer um den anderen in gemessenen Zwischenräumen auf die gerundete Oberfläche eines aus dem Boden hervorwachsenden Pilasters aufschlagen; hier ist das Wasser in ununterbrochener Thätigkeit an der Arbeit, und jeder Tropfen fügt dem Baue ein Atom neuen Sinters bei. So phantastisch und wechselnd auch die Formen dieser Gebilde sind, mögen sie wie Draperien eines Vorhanges herabhängen, mögen sie als mächtige, glockenförmige Kuppeln erscheinen oder die normale Säulenform zeigen, sie verdanken doch alle ihre Entstehung einem und demselben Vorgang, und die wechselnde Gestalt rührt nur von den Modifikationen im Bau von Decke und Boden der Grotte her, die den Ablauf des Wassers beeinflussen.

Nach denselben Gesetzen erfolgen auch sonst Absätze von Kalksinter oder Kalktuff[1]. Stürzt z. B. ein Bach als Wasserfall über eine Felsstufe und zerstäubt dabei in Millionen von Tropfen, so ergeben sich wieder die Bedingungen zur Ausscheidung eines reichlich vorhandenen Kalkgehaltes. Das herrliche Quadermaterial für die Prachtbauten Roms, der Travertin, ist durch den Anio



Stalaktiten in der Tropfsteinhöhle von Aggtelék in Ungarn. (Nach Photographie.) Vgl. Text, S. 602.

in dieser Weise im Laufe der Zeit abgesetzt worden, und noch heute und unter unseren Augen bildet er sich da, wo sich der Fluß bei Tivoli in schäumenden Kaskaden von den Höhen des Apennin zur Campagna hinabstürzt (s. Abbildung, S. 605).

[1] Als Tuffe bezeichnet man in der Regel Gesteine, die aus vulkanischem Material durch Wasser zusammengeschwemmt worden sind. Obgleich es sehr mißlich ist, den Namen Kalktuff auf etwas davon total Verschiedenes anzuwenden, so ist er doch im Sprachgebrauch so eingewurzelt, daß wir ihn nicht umgehen können.

Noch weit häufiger finden durch Quellen solche Bildungen statt, denen man in kalkreichen Gegenden allenthalben begegnet. Selbst in Gebieten, wo keine älteren Kalksteine vorhanden sind, wie z. B. in der Sandsteinzone der Karpathen, treten nicht selten kleinere Ablagerungen von Kalktuff auf. Der Grund dieser scheinbar rätselhaften Erscheinung ist jedoch ein sehr einfacher: wenn

Stalagmiten in der Tropfsteinhöhle von Aggtelék in Ungarn. (Nach Photographie.) Vgl. Text, S. 602.

Wasser langsam durch poröses Sandstein mit kalkigem Bindemittel sickert, kann es auf seinem langen Wege genügende Mengen von kohlensaurem Kalk lösen, um sie an der Oberfläche niederschlagen zu können. Die Kalktuffe haben oft ein lockeres Gefüge und umschließen sehr häufig die Abdrücke von Blättern, Stengeln und anderen Pflanzenteilen oder massenhafte Schneckengehäuse, bisweilen auch Knochen ꝛc. (s. Abbildung, S. 606). Das bekannteste Beispiel dieser Art liefern die Thermen von Karlsbad in Böhmen, deren Absatz, der Sprudelstein, das ganze Thal erfüllt; so rasch geschieht hier der Kalkabsatz, daß Gegenstände, die man in das Wasser legt, in kurzer Zeit vollständig überrinden. Bei vielen Quellen wird die Kalkausscheidung durch die Lebens-

vorgänge von Algen begünstigt. Sie entziehen die ihnen nötige Kohlensäure dem Quellwasser und veranlassen dadurch die Fällung von Kalk.

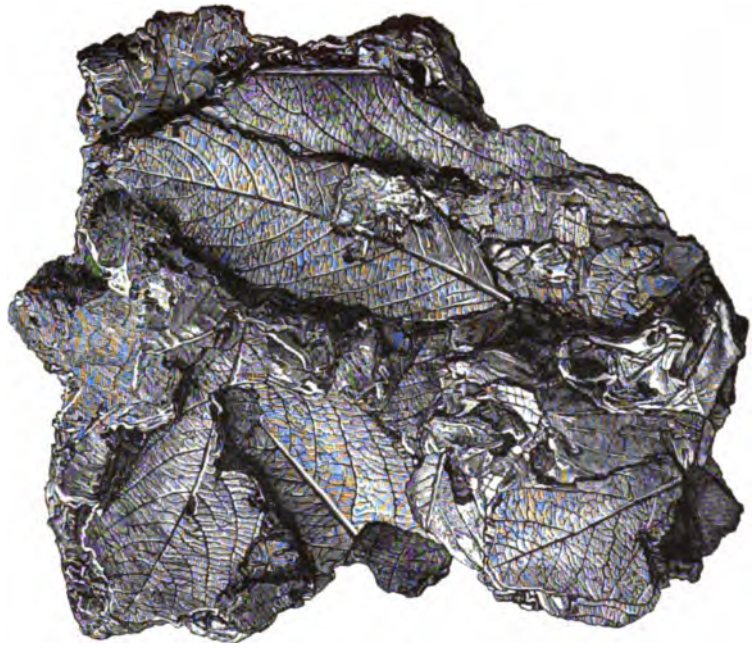
Einzelne sehr heiße Quellen enthalten in großer Menge Kieselsäure gelöst, dieselbe Substanz, die wir als Quarz, Opal, Achat, Feuerstein kennen; aus diesen Quellen scheidet sie sich oft in großen Massen als weißer **Kieselsinter** ab. In gewaltigem Maßstabe sind solche Bildungen bekannt aus Island, aus dem sogenannten Yellowstonepark an der nordwestlichen Grenze von Wyoming in den Vereinigten Staaten von Nordamerika und aus Neuseeland. Auch bei der Ausscheidung von Kieselsinter wirkt die **Algenvegetation** mit, wie wir dies schon im Vorhergehenden besprochen haben (s. S. 441).

Der Wasserfall von Tivoli mit seinen Travertinbildungen. Vgl. Text, S. 603.

Das Meer war der Ausgangspunkt unserer Betrachtung der Sedimentgesteine; wir kehren zu ihm zurück, um die wichtige und vielbesprochene Frage zu erörtern, ob sich aus seinem Wasser **kohlensaurer Kalk** direkt ausscheiden kann, und ob wir diesem Vorgange die Bildung mächtiger Kalklager aus früherer Zeit zuschreiben dürfen. Wie oben gezeigt, enthält das offene Meer nur eine verschwindende Menge von kohlensaurem Kalk und könnte eine viel größere Quantität davon aufnehmen; die Erfahrungen der neueren Zeit haben sogar erwiesen, daß es in seinen großen Tiefen alle Kalkschalen an der Oberfläche schwimmender Tiere auflöst, die nach dem Tode ihrer Einwohner auf den Boden sinken. Die Annahme einer direkten Kalksteinbildung im offenen Meere unter den heutigen Verhältnissen wäre demnach geradezu widersinnig; dagegen ist die Möglichkeit gegeben, daß lokal beschränkte Küstenbildungen durch unmittelbares Auskristallisieren von kohlensaurem Kalk entstehen. Besonders günstige Bedingungen in dieser Beziehung bieten alle Orte, an denen starke Brandung herrscht. Das Wasser verliert durch die heftige Bewegung seine Kohlensäure und damit zum großen

Teil seine Fähigkeit, Kalk zu lösen. Ist nun überdies dieser Bestandteil infolge der Nähe einer Flußmündung lokal in stärkerem Verhältnis vorhanden, so kann er sich an dem brandenden Küstensaum abscheiden und zu Schichten aufhäufen; der nämliche Vorgang findet in Binnenbecken statt, die, wie das Mittelländische Meer, besonders kalkreich sind. In der That sind auch solche Uferbildungen von manchen Punkten bekannt, namentlich in ziemlicher Entwickelung aus der Gegend der Rhônemündung, und wahrscheinlich werden sie sich mit der Zeit noch in verschiedenen anderen Gegenden finden.

Jedenfalls aber können sich auf diese Weise nur sehr beschränkte und im Verhältnis zu den großen ozeanischen Vorkommnissen fast verschwindende Kalkabsätze bilden. Wir stehen daher vor der Frage: woher stammen die ungeheuern marinen Kalkbildungen, deren kolossale Mächtigkeit wir in den Alpen mit Staunen sehen, und die sich oft über Hunderte von Quadratmeilen in gleichmäßiger Verbreitung verfolgen lassen? Und Hand in Hand mit dieser Frage tritt uns das andere Problem entgegen, wohin die Massen von gelöstem Kalk kommen, die Jahr für Jahr von den Flüssen dem Meer zugeführt werden, so daß man diese Substanz als die herrschende im Wasser des Ozeans erwarten sollte. Mit kaum nennenswerten Ausnahmen ist in allen Flußwassern der kohlensaure Kalk unter den gelösten Bestandteilen weitaus am stärksten vertreten, und im offenen Meer ist er in so sehr geringer Menge vorhanden, daß er kaum mehr nachgewiesen werden kann, während Kochsalz, das im Ozean drei Viertel der gelösten Teile ausmacht, in den Flüssen eine ganz untergeordnete Rolle spielt. Man kann annehmen, daß durchschnittlich in 1000 Teilen Flußwasser ein Teil kohlensaurer Kalk enthalten ist, und daß alle Flüsse der Erde in 15,000 Jahren ebensoviel Wasser liefern, wie das Meer enthält, daß sie mithin in dieser Zeit den ganzen Wasserbestand des Meeres erneuern; offenbar müßte also der Ozean in einigen Jahrtausenden ganz mit Kalk gesättigt sein, wenn ihm nicht ein energisch wirkender Faktor diesen Bestandteil fortwährend wieder entzöge, um ihn zur Bildung mächtiger Schichtgebilde zu verwenden.



Travertin mit Blattabdrücken, von Tivoli bei Rom. Vgl. Text, S. 604.

Es ist die Thätigkeit der Organismen, der Tiere vor allen, daneben aber auch der Pflanzen, die hier eingreift. Bekanntlich sondert eine zahllose Menge von Geschöpfen des Meeres kalkige Schalen oder Skelettteile ab, und zwar sind es namentlich Muscheln, Schnecken, Seeigel, Seesterne, Krinoiden, Korallen, Foraminiferen unter den Tieren, gewisse Algen unter den Pflanzen, die dem Meerwasser den Kalk entziehen. Wenn man an manchen Küstenstrecken, z. B. am Lido

bei Venedig, den Boden betrachtet, so sieht man massenhafte gut erhaltene Muscheln und Schneckengehäuse, die von den Wellen ausgeworfen wurden; jede neue Woge rollt sie am Strande hin und her, sie zerbrechen allmählich, die Trümmer werden mehr und mehr abgerundet, und als letztes Produkt erscheinen weiße, kalkige Körner, nicht größer als die Körner des Küstensandes, dem sie hier beigemischt sind; so entsteht das Material, aus dem sich im Laufe der Zeit ein kalkiger Sandstein entwickelt. An anderen Stellen des Meeres finden sich reine Anhäufungen von Resten kalkschaliger Organismen, aus denen eigentliche Kalksteine entstehen, während da, wo sie mit thonigem Schlamm gemischt sind, Anlaß zur Bildung von Mergel, einem Gemenge von Thon und kohlensaurem Kalk, gegeben ist.

Die Art und Weise, wie die Organismen und namentlich die Tiere den Kalk aufnehmen und abscheiden, ist noch nicht endgültig festgestellt. Die nächstliegende Annahme wäre natürlich die, daß sie unmittelbar kohlensauren Kalk des Meerwassers zum Schalenbau verwenden. Da aber der Gehalt an kohlensaurem Kalk im Meerwasser ein sehr geringer ist, wurde die Möglichkeit in Betracht gezogen, daß der in viel größerer Menge vorhandene schwefelsaure Kalk des Meerwassers die eigentliche Quelle der Kalkschalenbildung sei. Es ist aber sehr wahrscheinlich, daß die tierischen Organismen aus den verschiedensten Verbindungen Kalk zu entnehmen vermögen, und zwar dadurch, daß *ammoniakhaltige tierische Ausscheidungen* Kalkkarbonat aus dem Meerwasser fällen. Wenn wir auch die Gesamtheit der physiologischen Vorgänge bei der Schalenbildung noch nicht zu überblicken vermögen, so steht doch jedenfalls die Thatsache fest, daß zahlreiche Organismen des Meeres Kalkschalen absondern, die in großen Massen Sedimente bilden, und daß der von den Flüssen ins Meer gelangende kohlensaure Kalk direkt oder indirekt das Material hierzu liefert.

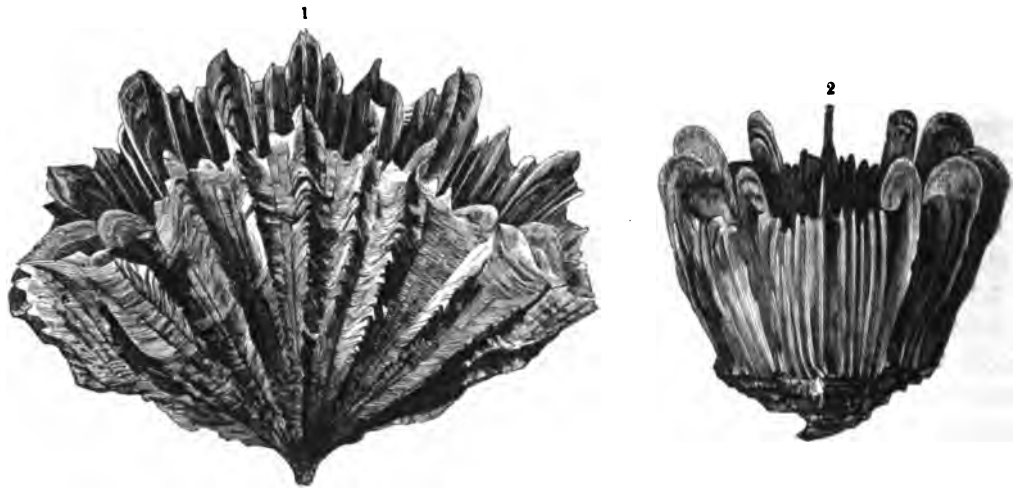
Wie oben gezeigt, werden die schwebenden Kalkteile, die eine Trübung der Flüsse hervorbringen, vom Wasser allmählich aufgelöst und können daher nur in seltenen Ausnahmefällen im Meere zur Ablagerung kommen; nun entsteht die Frage, warum denn nicht auch die Schalen der Meerestiere dasselbe Schicksal erleiden und aufgelöst werden, zumal das Meerwasser freie Kohlensäure enthält. Es müßte dies geschehen, wenn nicht durch den eigentümlichen Bau der organischen Kalkbildungen ein Schutz gegen den Angriff des Meerwassers gegeben wäre. Löst man z. B. eine Muschel in Salzsäure auf, so bleibt eine gallertartige Masse von der Form der Muschel zurück; diese ist von einem Netzwerk organischer Substanz durchzogen, deren Membranen den kohlensauren Kalk umhüllen und so vor der Auflösung bis zu einem gewissen Grade bewahren. Viele Molluskenschalen sind mit einer kräftigen Epidermis bedeckt, und in ähnlicher Weise sind auch die Kalkteile anderer Tiere durch organische Gewebe geschützt. Man hat sehr interessante Versuche über diesen Gegenstand angestellt, die zeigen, daß selbst gepulverte Austernschalen von Säuren viel weniger angegriffen werden als gewöhnlicher Kalk.

Durch diese Eigentümlichkeit ihres Baues geschützt, häufen sich die Schalen und Gerüste der verschiedensten Tiere und mancher Pflanzen am Meeresgrunde an und können sich im Verlaufe langer Zeiträume zu ungeheuern Massen auftürmen. Die schroff abstürzende Felsmauer, die den Steilabfall der Schwäbischen und Fränkischen Alp krönt, die wild zerrissenen Kalkberge der Nord- und Südalpen, die Gesteinsmächtigkeiten von einigen Tausend Metern aufweisen, die vielfach gefalteten Kalke, die die öden, karstigen Landstriche am Ufer des Mittelmeers zusammensetzen, sie alle verdanken ihre Entstehung der kalkabsondernden Thätigkeit von Billionen und Trillionen von Organismen, die in vergangenen Zeiten existiert haben. Und es sind keineswegs die größeren Formen, denen man in dieser Beziehung eine überwiegende Rolle zuschreiben kann; vermutlich haben die bedeutendste Wirkung solche Lebewesen erzielt, die mit freiem Auge kaum deutlich erkennbar sind, zum Teil sogar erst bei ziemlich ansehnlicher Vergrößerung sichtbar werden.

Es gibt kaum eine Thatsache, die mehr als diese geeignet wäre, uns eine Vorstellung von der ungeheuern Wirkung zu geben, die von der durch lange Zeiträume fortgesetzten Thätigkeit scheinbar geringfügiger und unbedeutender Faktoren hervorgebracht wird. Fast mikroskopisch kleine Tierchen mit zarter Kalkschale schwimmen im Wasser des Meeres, und ihre Gehäuse sinken nach dem Tode der Bewohner auf den Boden nieder. Wie lange mag es dauern, bis eine nur 1 mm dicke Lage den Grund bedeckt, Jahrhunderte mögen vergehen, ehe es soweit kommt, und doch entstehen im Verlauf langer geologischer Perioden auf diese Weise Ablagerungen, die gebirgsbildend wirken. Es gibt keine bessere und mehr in die Augen fallende Illustration des obersten leitenden Grundsatzes der neueren Geologie, daß großartige Erscheinungen, die wir vollendet vor uns sehen, in der Regel nicht der einmaligen, kurz dauernden Wirkung einer gewaltigen Kraft, sondern der Anhäufung zahlloser kleiner Einzelwirkungen zuzuschreiben seien.

Kalkbildung durch Pflanzen, Mollusken, Stachelhäuter und Korallen.

Unter den Pflanzen kommen als Kalkbildner hauptsächlich die Kalkalgen in Betracht. In der Jetztwelt überziehen namentlich die weit verbreiteten Lithothamnien (s. Abbildung, S. 609, Fig. 1, a u. b) felsige Ufer mit dicken Kalkkrusten, und in Tiefen von 10—70 m gedeihen sie nicht

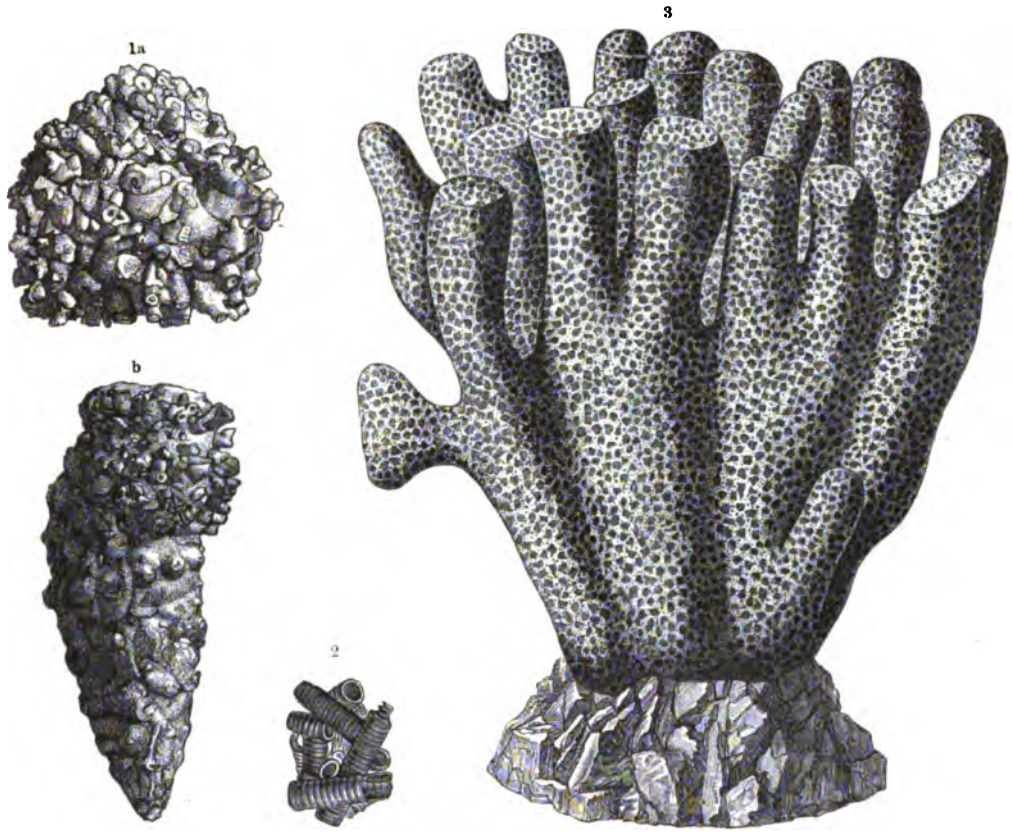


Einzelkorallen aus tiefem Wasser: 1) Flabellum, 2) Ceratotrochus. (Nach Wyville Thomson.) Vgl. Text, S. 610.

selten so üppig, daß sie ausgedehnte und ziemlich mächtige Kalklager bilden. An Korallenriffen spielen sie, wie wir weiter unten sehen werden, eine wichtige Rolle. Auch in der jüngeren Tertiärzeit entstanden durch massenhafte Lithothamnienvegetation mächtige Kalklager, wie z. B. der Leithakalk, der wichtigste Baustein Wiens. In den älteren Perioden der Erdgeschichte sind in dieser Beziehung namentlich die Daktyloporiden zu erwähnen (s. Abbild., S. 609, Fig. 2), die in der Triasformation gesteinsbildend auftreten. Noch bedeutungsvoller aber ist die Wirksamkeit gewisser mikroskopischer Formen, die wir bei Besprechung der Tiefseebildungen näher kennen lernen werden.

Hier soll uns hauptsächlich die Kalkbildung in der Nähe des Strandes und in wenig tiefem Wasser beschäftigen, und in diesem Teile des Meeres liefern unter den Tieren namentlich die Mollusken oder Weichtiere in großer Menge das Material für Kalksteine. Ganze mehr oder weniger gut erhaltene Schalen, größere oder kleinere Trümmer oder das feine Zerreibsel, das durch ihre Abrollung in der Brandung entsteht, werden, gemischt mit Thon und Sand, seltener

für sich allein, abgelagert und sind wesentliche Kalkbildner für die litoralen (von litus, die Küste) Gebiete. In Gegenden, wo, wie z. B. auf den britischen Inseln, hochpelagische (von pelagus, das Meer; pelagisch, d. h. dem Meere angehörig) Kalkbildungen aus früheren Perioden wenig vertreten sind, ergeben daher Dünnschliffe verschiedener Kalke in der Regel das Vorhandensein von Molluskenschalen als wichtigstes Element des Aufbaues. In den Ablagerungen aus tiefem Wasser treten sie dagegen, wenigstens in der Jetztzeit, stark zurück, und annähernd ähnliche Verhältnisse haben, von den ältesten geologischen Perioden abgesehen, auch in früheren Zeiten geherrscht.

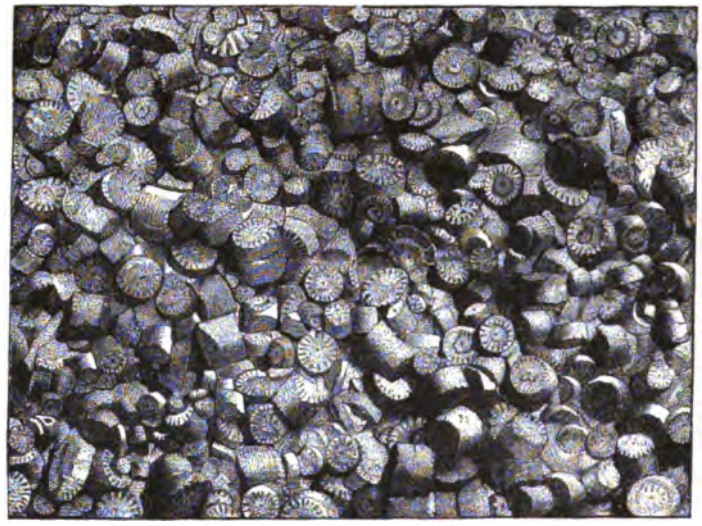


1) Lithothamnium von Capri: a) selbständiges Individuum, b) als Überzug über eine Schneckenschale (Cerithium vulgatum). 2) Daktyloporiden der Trias (Gyroporella). (Nach Gümbel.) Vgl. Text, S. 608. 3) Porites. (Nach Agassiz.) Vgl. Text, S. 611.

Die Echinodermen oder Stachelhäuter, zu denen See-Igel, Seesterne, Seelilien gehören, treten jetzt kaum irgendwo in so bedeutender Menge auf, daß sie zur Gesteinsbildung einen nennenswerten Beitrag liefern könnten; doch waren sie in früheren Perioden der Geschichte unserer Erde offenbar sehr viel stärker vertreten als heute, und besonders gilt dies von den Krinoiden oder Seelilien (s. Abbildung, S. 611), die, in der Jetztwelt auf wenige Gattungen reduziert, in der Vorzeit einen ebenso wunderbaren Reichtum an Formen wie eine staunenswerte Fülle von Individuen entwickelten. Sehr häufig finden wir in verschiedenen paläozoischen und mesozoischen Formationen Kalkbänke von oft bedeutender Mächtigkeit, die ganz aus ihren Kalkteilen bestehen, namentlich aus den Trümmern der gegliederten Stiele, mit denen sich diese Tiere an feste Körper anheften. Verschiedene paläozoische und mesozoische Gebilde dieser Art sind bekannt; die Abbildung auf S. 610 zeigt ein Stück aus dem sogenannten Muschelkalk der Triasformation, das

ganz aus Stielgliedern und einzelnen Kronenteilen eines Krinoiden, des Encrinus liliiformis, besteht. Eins der großartigsten Beispiele von Anhäufungen solcher Art findet sich in den Karpathen in einem Gebiete an der Grenze von Ungarn und Galizien: in der sogenannten südlichen Klippenregion von Neumarkt, südlich von Krakau, bis in die Gegend von Eperies im Saroser Komitat in Ungarn besteht fast der ganze mittlere Jura aus mächtigen Anhäufungen von Krinoidenstielen.

Trotzdem tritt die Bedeutung der Stachelhäuter zurück im Vergleich zu der einer niedriger organisierten Abteilung des Tierreiches, der **Korallen**, deren gewaltige Bauten zu den merkwürdigsten Wundern des Ozeans gehören. Die Korallen[1] sind Angehörige der großen Tierabteilung der Cölenteraten, die durch vorwiegend strahligen Körperbau und das Vorhandensein eines inneren Verdauungsraumes charakterisiert sind, der keine oder eine nur spurenweise vorhandene Differenzierung in Speiseröhre, Magen und Darm zeigt. Viele von diesen Korallen scheiden in ihrer Körperwandung ein meist ziemlich kompliziertes Kalkgerüst ab, die sogenannte Zelle, in deren Innerem sternförmig angeordnete Leisten zu verlaufen pflegen. Bei vielen bleibt jedes Individuum einzeln und gesondert für sich, bei anderen dagegen vereinigen sich überaus zahlreiche Individuen, die dann auch ein zusammenhängendes Kalkgerüst besitzen, zu einem Stock oder einer Kolonie. Entweder legen sich dabei die einzelnen Zellen mit ihren Wandungen aneinander an, oder sie verschmelzen zu lang gezogenen Reihen; bei anderen wuchern die Sternleisten nach außen und verwachsen mit denen des Nachbarindividuums, während bei wieder anderen die einzelnen Zellen in eine gemeinsame Kalkmasse eingesenkt sind.



Aus Krinoidengliedern (Encrinus liliiformis) zusammengesetzter Kalk. Vgl. Text, S. 609.

Die Verbreitung der Korallen in allen Meeren ist eine sehr weite; in warmen wie in kalten Regionen, in seichtem Wasser wie in riesigen Tiefen treten ihre Repräsentanten auf. Aber einer großartigen Entwickelung sind nur ganz spezielle Verhältnisse günstig; in kalten Gegenden und in der Tiefe finden sich bloß Einzelkorallen (s. die Abbildungen, S. 608) oder kleine, aus wenigen Zellen bestehende Kolonien. Große Stöcke und Rasen von Korallen kommen nur in heißen Meeren vor, wo die Temperatur des Wassers an der Oberfläche und in geringem Abstande von dieser auch in den Wintermonaten nicht unter 20° C. sinkt. Auch hier treten sie nur unter gewissen Bedingungen auf; ihr Vorkommen ist nach oben begrenzt durch den niedrigsten Ebbestand, nach unten

[1] Wenn hier von **Korallen** die Rede ist, darf man nicht an Körper von der Beschaffenheit der roten Edelkoralle denken; diese ist ein festes inneres Achsenskelett, wie es nur verhältnismäßig wenigen Formen zukommt, während die in großen Massen und gesteinsbildend auftretenden Hartteile von Korallen mehr oder weniger becherförmige, schüsselförmige oder cylindrisch angelegte Zellen sind, die die wichtigsten Weichteile des Tieres umschließen.

reichen sie jedenfalls nicht in bedeutende Tiefen, und schon bei 20 Faden (56,5 m) scheint ihr Fortkommen sehr beeinträchtigt, wenn auch Angaben vorliegen, daß lebende Exemplare bis zu 40 Faden hinabreichen. Ferner erfordern sie ganz klares Wasser von normalem Salzgehalt; wo das Wasser schwebende Sedimentteilchen enthält oder ausgesüßt ist, gehen die großen Korallenkolonien zu Grunde. Küsten mit schlammigem Boden, der stets vom Wellenschlag wieder aufgewühlt wird, schließen demnach ihr Vorkommen aus, und ebenso halten sie sich von den Mündungen von Flüssen, die schwebende Teile und süßes Wasser ins Meer führen, fern.

Wo alle Umstände zutreffen, können die Stöcke der Korallen in gewaltigen Massen auftreten. Allerdings kennt man weite Strecken, denen sie fehlen, ohne daß dafür eine bestimmte Ursache angegeben werden könnte, wie z. B. an der Westküste des äquatorialen Amerika; in der Regel entwickeln sie sich aber an seichten Stellen der tropischen Meere, wenn ihnen deren Boden günstig ist. Dort sondern die Scharen dieser zarten Tiere ihre kalkigen Gerüste ab, und durch ihre fortwährende Thätigkeit sind sie im stande, der zerstörenden Brandung Widerstand zu leisten; ja, wo diese am ungestümsten tobt, gedeihen die Korallenbauten am besten und finden ihre kräftigste und üppigste Entwickelung.

Seelilie (Pentacrinus Briaroides) aus dem Lias. (Nach Goldfuß.) Natürliche Größe. Vgl. Text, S. 609.

Es ist hier nicht der Ort, auf die zoologische Charakteristik der Korallen einzugehen, nur einige wenige der mächtigsten Kalkbildner aus den jetzigen Meeren mögen hier erwähnt werden. Wo die Brandung am wildesten anstürmt, ist namentlich die Heimat der seltsam gezackten Millepora-Bauten und der plump baumförmigen Poriten (s. die Abbildung, S. 609, Fig. 3), deren festes Gerüst aus einem feinen, netzförmigen Bau von Kalkteilen besteht. Von großer Wichtigkeit sind ferner die Madreporen (s. Abbildung, S. 6), die überaus vielgestaltige Formengruppe der Asträen (s. Abbildung, S. 612, oben) mit verhältnismäßig größeren Einzelkelchen, die sich

unmittelbar mit den Wandungen aneinander legen, die eigentümlich geformten Mäandrinen (s. untenstehende Abbildung, Diploria cerebralis) mit ihren langgestreckten, seltsam gewundenen Zellreihen und zahlreiche andere, deren Aufzählung hier zu weit führen würde. Zu ihnen gesellen sich in bedeutender Masse Vertreter des Pflanzenreichs, Algen, die sogenannten Nulliporen, die sehr große Kalkmengen in ihren meist unregelmäßigen knolligen oder krustenbildenden Stöcken absondern (s. die beigeheftete Tafel „Lebende Riffkorallen").

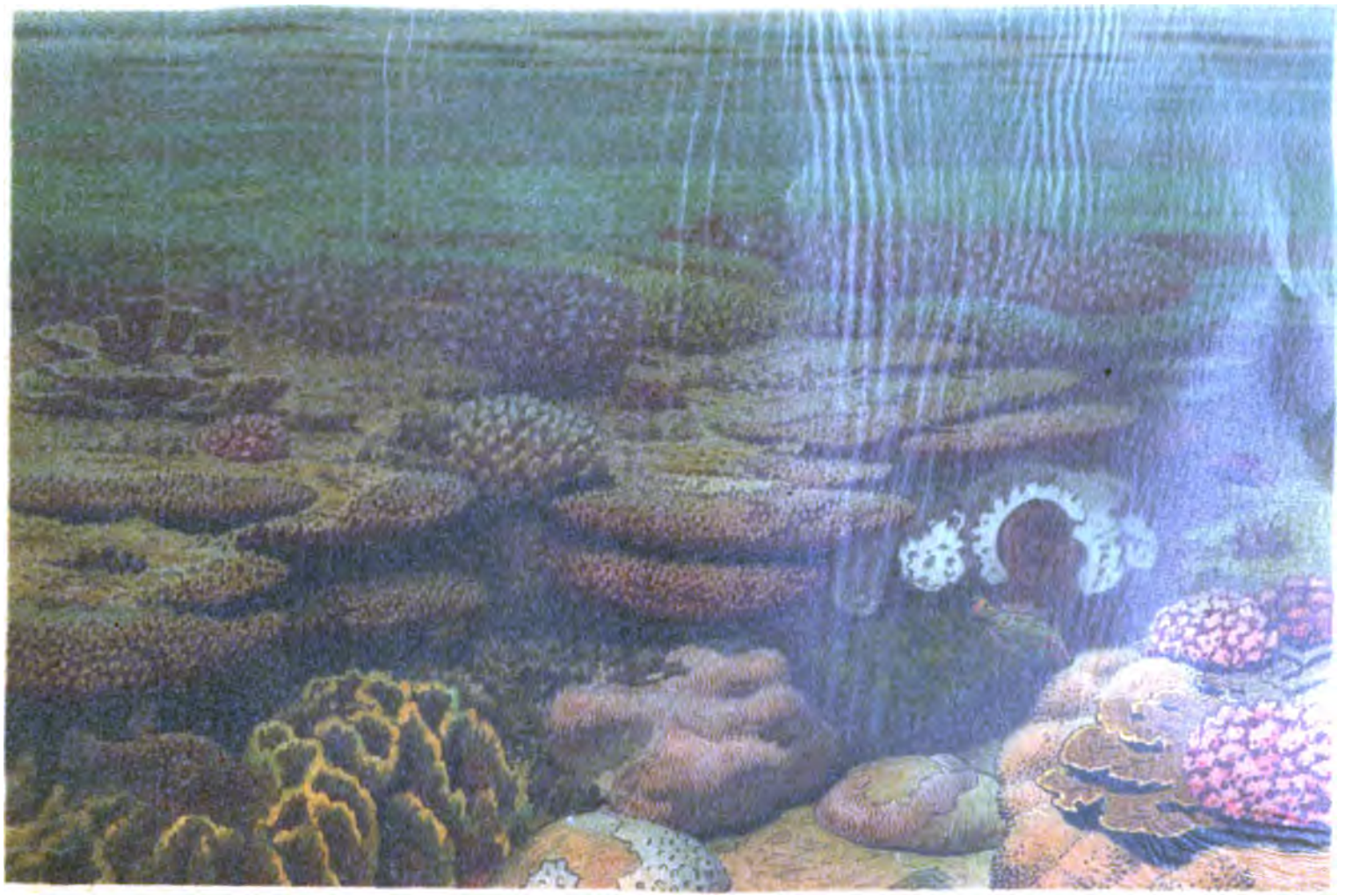
Astraea pallida mit den lebenden Tieren. 1/3 natürl. Größe. Vgl. Text, S. 611.

Diploria cerebralis, eine Mäandrine. (Nach J. Dana.)

Die Größe der Einzelindividuen in den Korallenkolonien ist in der Regel sehr gering und sinkt bei Milleporen, Poriten u. Madreporen sogar zu winziger Kleinheit herab; aber durch fortwährende Knospung bei manchen Formen, durch Selbstteilung bei anderen wachsen immer neue Zellen an, so daß durch die Vereinigung von Myriaden von Individuen Kolonien von riesigen Dimensionen gebildet werden. Die domförmigen Stöcke der Asträen und Mäandrinen können einen Durchmesser von 8 m erreichen, und die Poriten bilden massiv baumförmige Bauten, deren Höhe bis zu 6 m steigt. Die Annahme, daß diese ganze Masse aus lebenden Zellen bestehe, wäre aber ein großer Irrtum; im Gegenteil ist das Innere verlassenes und abgestorbenes Kalkgerüst, und nur die äußerste Oberfläche ist von lebenden Tieren bedeckt, die an den riesigen Domen der Asträen kaum 12 mm, an den Poriten nicht mehr als 4 mm weit ins Innere reichen. Wie lange ein solcher Korallenbau von der geschilderten Größe zu seiner Ausbildung braucht, ist noch nicht bestimmt ermittelt; doch sind einzelne Anhaltspunkte für die Vermutung vorhanden, daß hierzu weit mehr als ein Menschenalter notwendig ist.

Entstehung der Korallenriffe und Atolle.

Dem massenhaften, geselligen Auftreten solcher Tierbauten in den tropischen Meeren verdanken die Korallenriffe und Koralleninseln, diese wunderbarsten Bildungen des äquatorialen Ozeans, ihre Entstehung. Mannigfach sind ihre Formen und die Art ihres Auftretens, und manche Erscheinungen an ihnen sind so eigentümlich, daß sie nur schwer zu erklären sind. Wie schon erwähnt, kommen riffbauende Korallen nur bis zu einer Tiefe von etwa 20 Faden



unmittelbar mit den Wandungen aneinander legen, die eigentümlich geformten Mäandrinen (s. untenstehende Abbildung, Diploria cerebralis) mit ihren langgestreckten, seltsam gewundenen Zellreihen und zahlreiche andere, deren Aufzählung hier zu weit führen würde. Zu ihnen gesellen sich in bedeutender Masse Vertreter des Pflanzenreichs, Algen, die sogenannten Nulliporen, die sehr große Kalkmengen in ihren meist unregelmäßigen knolligen oder krustenbildenden Stöcken absondern (s. die beigeheftete Tafel „Lebende Riffkorallen").

Astraea pallida mit den lebenden Tieren. 1/2 natürl. Größe. Vgl. Text, S. 611.

Diploria cerebralis, eine Mäandrine. (Nach J. Dana.)

Die Größe der Einzelindividuen in den Korallenkolonien ist in der Regel sehr gering und sinkt bei Milleporen, Poriten u. Madreporen sogar zu winziger Kleinheit herab; aber durch fortwährende Knospung bei manchen Formen, durch Selbstteilung bei anderen wachsen immer neue Zellen an, so daß durch die Vereinigung von Myriaden von Individuen Kolonien von riesigen Dimensionen gebildet werden. Die domförmigen Stöcke der Asträen und Mäandrinen können einen Durchmesser von 8 m erreichen, und die Poriten bilden massiv baumförmige Bauten, deren Höhe bis zu 6 m steigt. Die Annahme, daß diese ganze Masse aus lebenden Zellen bestehe, wäre aber ein großer Irrtum; im Gegenteil ist das Innere verlassenes und abgestorbenes Kalkgerüst, und nur die äußerste Oberfläche ist von lebenden Tieren bedeckt, die an den riesigen Domen der Asträen kaum 12 mm, an den Poriten nicht mehr als 4 mm weit ins Innere reichen. Wie lange ein solcher Korallenbau von der geschilderten Größe zu seiner Ausbildung braucht, ist noch nicht bestimmt ermittelt; doch sind einzelne Anhaltspunkte für die Vermutung vorhanden, daß hierzu weit mehr als ein Menschenalter notwendig ist.

Entstehung der Korallenriffe und Atolle.

Dem massenhaften, geselligen Auftreten solcher Tierbauten in den tropischen Meeren verdanken die Korallenriffe und Koralleninseln, diese wunderbarsten Bildungen des äquatorialen Ozeans, ihre Entstehung. Mannigfach sind ihre Formen und die Art ihres Auftretens, und manche Erscheinungen an ihnen sind so eigentümlich, daß sie nur schwer zu erklären sind. Wie schon erwähnt, kommen riffbauende Korallen nur bis zu einer Tiefe von etwa 20 Faden

LEBENDE RIFFKORALLEN

unter dem Meeresspiegel gut fort, in größerer Entfernung von der Oberfläche können sie nicht existieren. Nun kennen wir aber Koralleninseln, die weit von jeder Küste mitten aus dem Ozean, und zwar aus Tiefen von mehreren tausend Metern, aufragen, und deren Wände unterseeisch sehr steil abstürzen, mit Böschungen von 10—63°. Ursprünglich glaubte man, daß die Rifforallen auch in den Abgründen des Meeres leben und aus diesen herauf bis an den Wasserspiegel ihre Bauten führen. Diese Erklärung gab z. B. vor mehr als 100 Jahren Reinhold Forster, der Begleiter Cooks, dem wir die erste wissenschaftliche Beschreibung dieser Bildungen verdanken. Als man sich aber überzeugte, daß die Korallen nur in seichtem Wasser gedeihen, als man aus größeren Tiefen längs der Riffe immer nur abgestorbene Trümmer zum Vorschein brachte, da war diese Auffassung nicht mehr haltbar. Man griff zu einer anderen Hypothese, daß nämlich die Koralleninseln auf den Gipfeln unterseeischer Berge, submariner Vulkane, aufsitzen; aber eine solche Annahme erweist sich ebenfalls bei genauerer Betrachtung als unmöglich. Schon die Voraussetzung einer so großen Anzahl von Vulkanen, die vom Meeresgrund gerade bis zu jener seichten Zone heraufragen sollten, ist sehr unwahrscheinlich, und überdies ist die Form

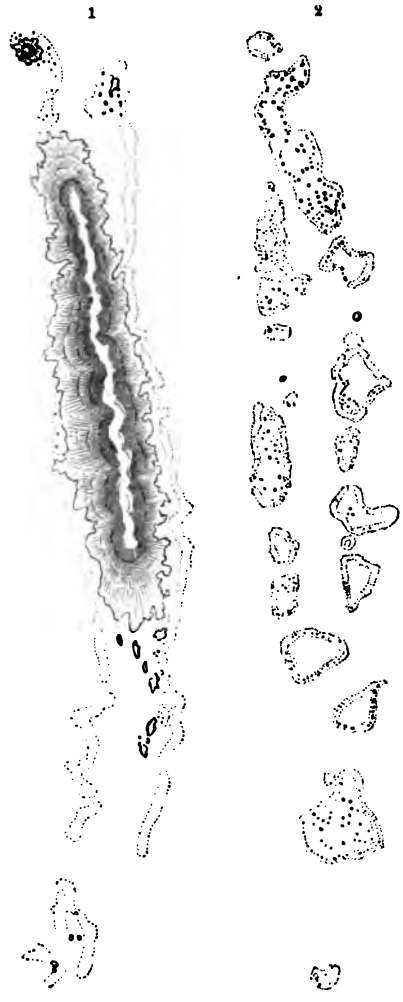
Hohe Insel mit Wall- und Saumriff. (Nach J. Dana.) Vgl. Text, S. 616.

vieler Atolle (ringförmiger Koralleninseln) derartig, daß sie unmöglich dem Rande eines Kraters entsprechen können; solche Ringwälle von 50—60 Seemeilen Durchmesser und viel größerer Länge als Breite zeigen Verhältnisse, wie sie an Feuerbergen nie vorkommen.

Die richtige Erklärung dieser merkwürdigen Bildungen wurde nahezu gleichzeitig von zwei Forschern in vollständiger gegenseitiger Unabhängigkeit gefunden, von Ch. Darwin und von dem bekannten amerikanischen Geologen J. Dana, die beide längere Reisen in den korallenreichen Gebieten des Stillen Ozeans unternommen hatten. Obwohl seitdem Jahrzehnte verflossen sind, haben sich doch die von den genannten Forschern geäußerten Ansichten fast in allen Punkten bestätigt und nur wenige Modifikationen notwendig gemacht. Wir wählen zum Ausgangspunkt unserer Betrachtung den einfachsten Fall. Wo in den tropischen Meeren felsige oder sonst dem Fortkommen der Korallen günstige Küsten vorhanden sind, führen die Tiere ihre Bauten im unmittelbaren Anschluß an den Strand auf. Sie bilden einen Saum um das Land, ein Riff, das vom Grunde bis zum Niveau der tiefsten Ebbe nach aufwärts reicht und sich nach außen und abwärts so weit erstreckt, als die Tiefe des Wassers nicht zu groß für das Gedeihen der Tiere ist, also etwa bis dahin, wo der Meeresboden tiefer als ca. 20 Faden unter der Oberfläche des Wassers liegt; am Rande fällt das Riff sehr steil ab. So entsteht eine von den Korallenbauten gebildete Fortsetzung des Landes gegen das Meer hinaus, ein sogenanntes Saum- oder Küstenriff.

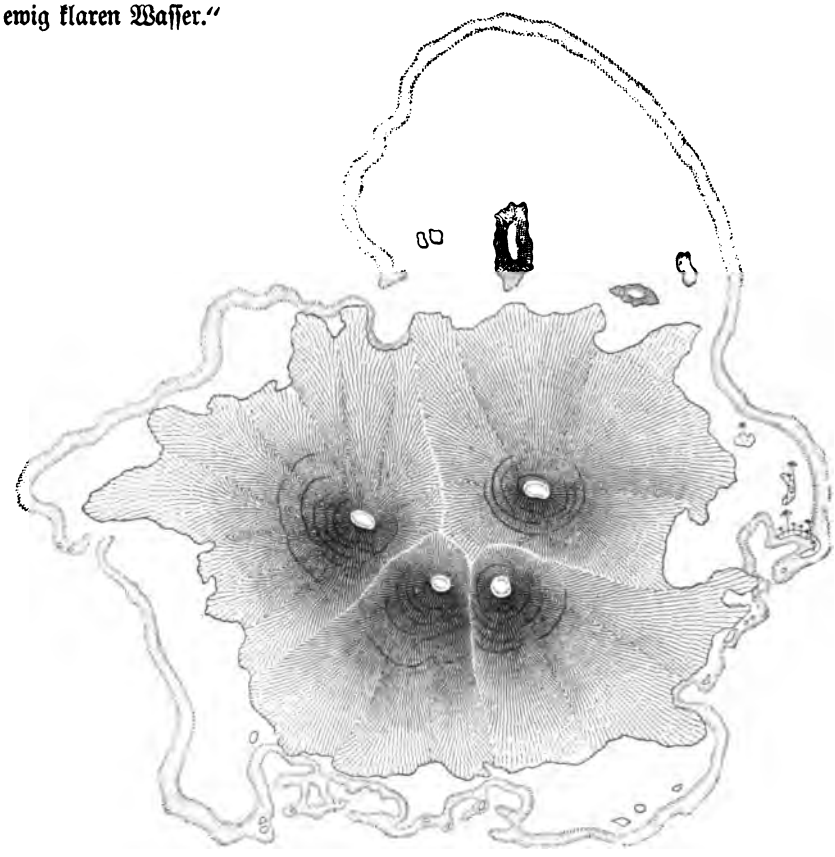
Gebilde dieser Art sind überaus verbreitet in allen warmen Meeren, wenn sie auch aus noch nicht genügend erklärten Gründen einem großen Teil des Atlantischen Ozeans, selbst in seinen äquatorialen Partien, fehlen. Das nächstliegende und für uns am leichtesten zugängliche

Beispiel liefern die Küsten des Roten Meeres, die größtenteils mit Küstenriffen eingefaßt sind. Oskar Fraas schildert uns einen Besuch dieser Bildungen in sehr lebendiger Weise: „Zum erstenmal zeigte sich mir bei Kosseir das unvergeßliche Schauspiel südlichen Lebens, das auf den vorwiegend aus Madreporen, Alcyonen, Milleporen und Asträen bestehenden Korallenbänken sich entfaltete. Längs des ganzen Roten Meeres zieht an den Ufern in einer Breite von einigen hundert Schritten das Saumriff hin, an dem die Brandung jahraus jahrein tost, und von dem jede Barke, wohl wissend warum, in respektvoller Entfernung bleibt. Von einer benachbarten Höhe aus erkennt man das Riff an der lichtgrünen Farbe des Wassers, die, durch den Silberstreifen der Brandung getrennt von dem dunkeln Violettblau der Tiefe, sich aufs schärfste abhebt. Wo nun längs der Küste irgend ein Tagwasser in das Meer mündet, das jetzt vielleicht nur einige Stunden im Jahre fließt, aber wohl in früheren Zeiten noch reichlicher floß, da ist das Riff unterbrochen. Eine Lücke, je nachdem nur von 10 m, aber auch bis zu 100 m und darüber, öffnet sich und bietet der gebrechlichen Barke des Roten Meer-Schiffers den gesuchten Landungsplatz und ruhige Bergeplätze vor den oft recht gewaltigen Stürmen, denen dieses schmale Binnenmeer ausgesetzt ist. Der Schiffer kennt diese Lücken im Riff wohl alle, hier nur ist es zur Ebbezeit vom Lande aus möglich, wenn auch nicht trockenen Fußes, so doch ohne erhebliche Schwierigkeiten das Riff zu begehen. Ich besuchte es zu El Tôr und hinter Kosseir. Die Breite des Riffes ist wechselnd bis zu einigen hundert Schritten; in seiner ganzen Breite ist die Koralle abgestanden, nur am Saum, wo es gegen die hohe See abfällt, ist das wunderliche Leben der Stöcke zu beobachten. Ohne zu tauchen, ist es jedoch nicht möglich, sich ihrer zu bemächtigen; dagegen ist das Wasser so wunderbar klar, daß man versucht ist, nach denselben zu greifen, obwohl die Entfernung 4—6 m beträgt. Das Riff ist in seiner Breite vom Ufer bis zum Saum einer Kalkfelsenplatte mit rauher Oberfläche zu vergleichen, an der man äußerlich keine Spur von Korallenbau mehr erblickt. Erst wenn man mit dem Hammer ein Stück des körnigen Kalkes abschlägt, sieht man die Korallenstruktur des Felsens. Was für ein Leben nun auf diesem Riffe! Keine nur handgroße Stelle, wo es sich nicht regt und zuckt und die Krebse und Anneliden ebenso wie die Mollusken und Echinodermen gruppenweise nebeneinander ihr Stillleben führen. Die einzelnen Arten, die das Riff beleben, treten immer in solcher Menge auf, daß der Wert des Individuums kein anderer deucht als der des Sandkorns oder des Wassertropfens. Die Individuenmenge ist um so auffallender, als einige Arten stets für sich leben und ihre bescheidenen Lebensbezirke haben, die sie nicht verlassen, und die ihnen auch von Konkurrenten nicht streitig gemacht werden.



1) Neukalebonien mit seinen Barrierriffen. (Nach Darwin.) 2) Die Malediven. (Nach Darwin.) Vgl. Text, S. 616 und 617.

„In jähem Absturz geht es am Rande in die dunkelblaue Tiefe hinab, und ängstlich weicht man der sich brechenden Woge aus, die drohend zum Rande kommt, als wollte sie den Fremdling mit in die Tiefe reißen. Hier am Rande sitzen riesige Holothurien und Aktinien, und zwischen den Ästen der Madreporen klafft die große Tridacna (die bekannte Riesenmuschel). Der Fels, welcher bis hierher abgestorben ist, scheint durch und durch Leben zu bekommen, denn soweit man in die Tiefe blickt, zuckt es an ihm tausendfach und spielen die Fühler der Korallen flimmernd in dem ewig klaren Wasser."



Die Ponapé-Insel. (Nach Darwin.) Vgl. Text, S. 616.

Dieser einfachste Fall ist unschwer zu erklären, er gibt uns den Schlüssel zum Verständnis der verwickelteren Erscheinungen. Die Korallen haben sich am Strande angesetzt und wuchern von da so weit, als die äußeren Verhältnisse es gestatten. Denken wir uns nun das Gebiet eines einfachen Strandriffes, wie wir es soeben von Kosseir kennen gelernt haben, von einer Veränderung im gegenseitigen Niveau von Land und Wasser in der Weise betroffen, daß der Meeresspiegel an der Küste ansteigt und diese selbst sinkt. Natürlich werden nun an dem Absturz des Saumriffes gegen das offene Meer die untersten Partien der Korallen absterben, da sie ja nur bis in eine Tiefe von 20 Faden existieren können. Aber in demselben Maße, als an der Basis das Leben aufhört, werden an der Oberfläche die Bedingungen günstiger, und soweit die Wasserfläche ansteigt, bauen die Korallen nach oben und schieben ihre Kolonien immer bis zum jeweiligen Stande der tiefsten Ebbe hinauf. Dadurch ist also die Möglichkeit gegeben, daß die Dicke eines Riffes allmählich bedeutend größer wird, als sie ursprünglich war, und wenn im Verlauf eines sehr langen Zeitraumes der Meeresspiegel sehr erheblich steigt und das Land einsinkt, so können

Korallenkalke von außerordentlicher Mächtigkeit gebildet werden. Es tritt jedoch kein ganz gleichmäßiges Aufbauen des Riffes in seiner ganzen Breite ein. Wir haben aus der Schilderung von O. Fraas gesehen, daß der nach der Küste zu gelegene Teil des Riffes abgestorben ist, und daß ein üppiges Wachstum der Korallen nur am Rande stattfindet, an dem sich die Wogen fortwährend in gewaltiger Brandung brechen. Allerdings ist das nicht überall in so hohem Grade der Fall, sondern es bilden sich auch gegen die Küste zu fortwährend Kalkablagerungen; aber in voller Stärke findet die Zunahme doch nur an der Grenze gegen das stark bewegte offene Meer statt. Die Folge davon ist, daß sich das Riff meist nur hier an der äußersten Grenze bis ganz hinauf an den Wasserstand der Ebbe aufbaut, während es gegen die Küste zu in seinem Wachstum zurückbleibt. Es bildet sich also ein äußerer Wall, an dem sich die Wellen brechen, und zwischen diesem und dem Lande bleibt ein meist ziemlich seichter, von keinem Wellenschlag bewegter Meeresarm, eine Lagune, innerhalb deren selbst die Küste wieder von einem Saumriff eingefaßt sein kann (s. Abbildung, S. 613).

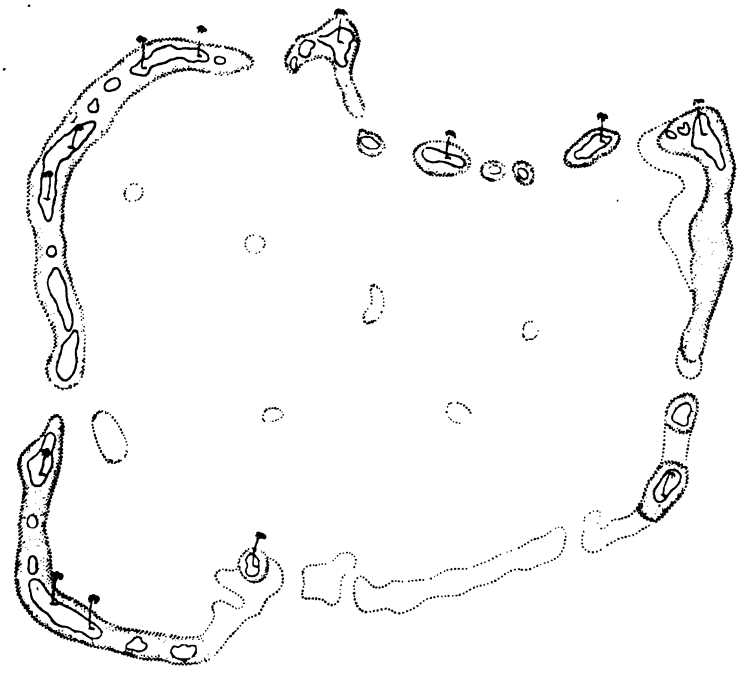
Die Gambier-Inseln. (Nach Darwin.)

Diese vom festen Lande durch eine Lagune getrennten Wall- oder Barrierriffe haben ebenfalls große Verbreitung; am großartigsten sind sie an der nordöstlichen Küste des australischen Kontinents, an der sich ein Wallriff in einer Länge von ungefähr 1100 engl. Meilen in einer mittleren Entfernung von 20—30 Meilen vom Lande hinzieht. Das Riff von Neukaledonien hat eine Länge von 400 engl. Meilen (s. Abbildung 1, S. 614), und neben diesen gewaltigsten Repräsentanten finden sich zahlreiche andere in den tropischen Teilen des Stillen und des Indischen Ozeans und vereinzelte auch im Atlantischen Meer. Häufig ist es nur eine sehr kleine Insel, eine unbedeutende aus dem Meer hervorragende Vulkangruppe, die in dieser Weise von den Korallenbauten umgeben wird (s. die Karte der Ponape-Insel, S. 615). Geht nun an einem solchen Punkte die Verschiebung der Strandlinie nach aufwärts und das Untertauchen des Landes noch weiter vor sich, so wird der Abstand zwischen Riff und Insel immer größer, die Lagune immer breiter, die Insel selbst immer kleiner, während die Korallen ihren Wall Schritt für Schritt nach oben bauen (s. die obenstehende Karte der Gambier-Inseln). Allmählich schreitet die Überflutung des zentralen Eilandes so weit fort, daß nur noch einzelne

Schematische Darstellung der Bildung eines Barrierriffes um eine Insel. (Nach J. Dana.) Vgl. Text, S. 617.

Berggipfel über das Wasser hervorragen; endlich verschwinden auch sie unter dem ansteigenden Meere, aber das Riff wächst weiter, es bildet jetzt einen meist von Kanälen durchbrochenen Ring, der nur eine Lagune umschließt (s. das untenstehende Kärtchen), und damit geht die merkwürdigste und extremste Ausbildung der Riffe vor sich, die der Atolle oder Lagunenriffe, die namentlich im Stillen und Indischen Ozean in zahlloser Menge auftreten und zu den seltsamsten Erscheinungen auf der Erde gehören.

In etwas anderer Weise gestaltet sich der Vorgang, wenn nicht eine kleine Vulkaninsel, sondern eine verhältnismäßig beträchtliche, von Barrierriffen umgebene Landmasse, wie Neukaledonien, allmählich untertaucht. Die Unterbrechungen der Barre sind hier so groß, die Abstände zwischen den beiden Rändern der sich bildenden Innensee so bedeutend, daß sich kein zusammenhängender Ringwall bilden kann und auch im Inneren die Brandung energisch genug wirkt, das Gedeihen der Riffkorallen und deren energisches Wachstum zu begünstigen. Das Barrierriff kann infolgedessen in eine Anzahl selbständiger Atolle zerfallen, die aber in ihrer Gesamtheit noch den Umriß der alten Insel festhalten. Auch im Inneren bilden sich, Bergen der versunkenen Insel entsprechend, Laguneninseln, und selbst sehr große Atolle erster Ordnung, die auf diese Weise entstanden sind, können dann wieder in kleine Atolle zerfallen. Diese äußerst verwickelten Erscheinungen sehen wir z. B. an dem riesigen Korallenarchipel der Malediven, westlich von Ceylon: die 17 Atolle erster Ordnung, die in mehr als 12,000 kleine Inseln zerfallen, reichen vom 9.° nördlicher Breite bis zum 15.° südlicher Breite und bezeichnen offenbar, wie Darwin nachgewiesen hat, die Stelle einer großen versunkenen Insel, die ursprünglich wie Neukaledonien von einem Wallriff umgeben war (s. Abbildung 2, S. 614).

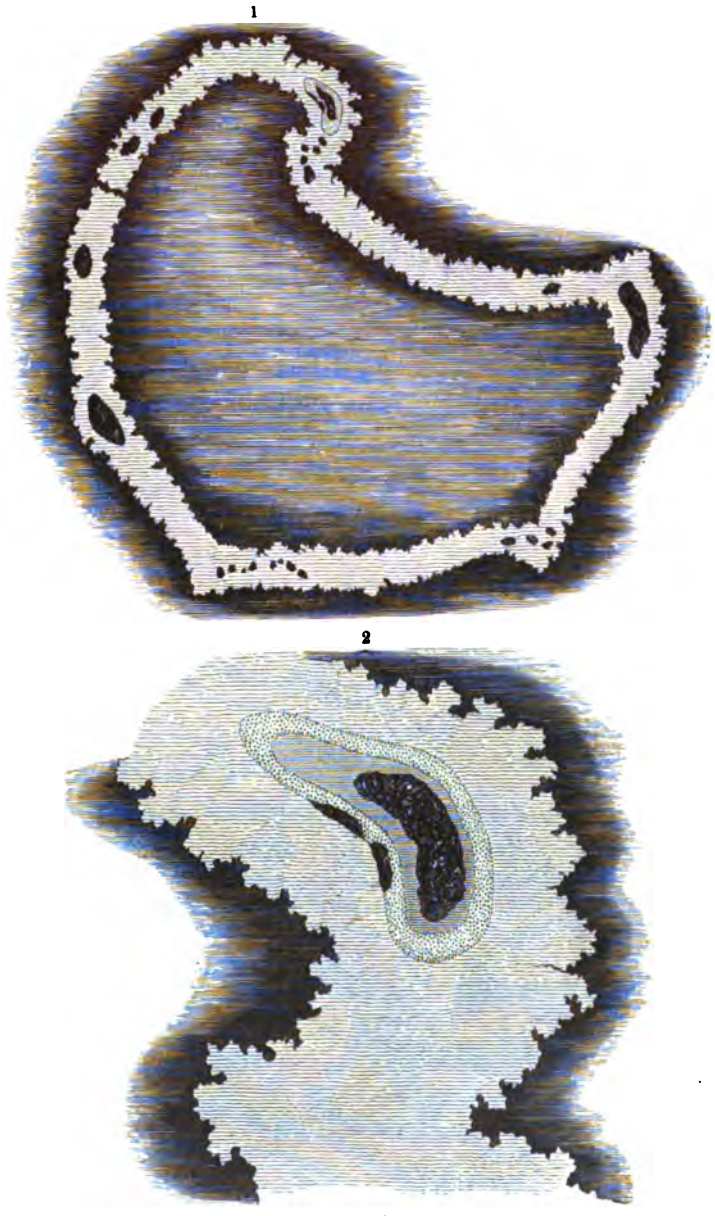


Das Peros-Banhos-Atoll. (Nach Darwin.)

Die schematische Darstellung auf S. 616 unten mag uns den Vorgang der Atollbildung versinnlichen. Die in kräftigen Linien ausgeführte Bergzeichnung repräsentiert den Durchschnitt durch eine beliebige Insel, die mit I, II, III, IV bezeichneten Horizontallinien versinnbildlichen die allmählich immer höher ansteigenden Stände des Meeresspiegels, die fein punktierten Linien bedeuten die Korallenriffbildungen, wie sie sich infolge dieser Veränderung des Wasserniveaus aufgebaut haben.

Beim Wasserstand I hat sich ein einfaches Saumriff f gebildet; die Strandlinie steigt nun vielleicht im Laufe sehr vieler Jahrtausende bis II an, und die Korallen bauen entsprechend nach.

Es bleibt beiderseits zwischen dem äußersten Riff b und der Insel eine Lagune e', innerhalb deren sich noch dicht an der Insel ein inneres Saumriff f' angesetzt hat. Indem dann das Wasser weiter bis III und IV steigt, bildet sich auf der linken Seite ein einfaches Barrierriff b'', b''', während rechts mit dem Untertauchen niedrigerer Berge der Insel über diesen neue Riffe i''' entstehen, so daß wir hier mehrere Barrieren hintereinander haben. Würde das Wasser noch um ein Geringes ansteigen, so würde es auch die höchste Spitze der ursprünglichen Insel bedecken, und es entstände ein echtes Atoll (s. die untere Abbildung, S. 619).



1) Stewart-Atoll: das Meerwasser dunkel schraffiert, das Riff hell, die über den Meeresspiegel hervorragenden, mit Vegetation bedeckten Inseln schwarz; 2) ein kleiner Teil des Riffes, in größerem Maßstabe gezeichnet. (Nach F. v. Hochstetter.) Vgl. Text, S. 621.

Wir haben bis jetzt nur gesehen, daß Korallenbauten der eben geschilderten Art unter den angegebenen Verhältnissen entstehen können; daß sie sich aber auch wirklich auf diese Weise gebildet haben, geht aus der Unmöglichkeit jeder anderen Erklärung hervor. Man hat allerdings in neuerer Zeit andere Deutungen versucht und darauf hingewiesen, daß sich beim Steigen des Meeresbodens oder beim Sinken des Wasserspiegels auf submarinen Höhen verhältnismäßig rasch kalkiges Sediment absetzt, das jedoch nicht von riffbildenden Korallen, sondern von Tiefseetieren gebildet wird; erst wenn die sich aufbauende Bank dem Wasserspiegel auf etwa 20 Faden nahegekommen ist, beginnen die Korallen ihr Werk, so daß also diese nur die Krönung der Riffe bilden, deren tiefere Teile anderen kalkabsondernden Tieren ihre Entstehung verdanken.

Eine handgreifliche Entscheidung dieser Frage wäre natürlich nur durch Anstellung einer Tiefbohrung auf dem Walle eines Atolles möglich, und wirklich sind durch Brunnenbohrungen

bei Honolulu auf Oahu Korallenkalke von mehr als 200 m Mächtigkeit nachgewiesen worden. Allein es bedarf kaum eines solchen Experiments, die Unmöglichkeit der zuletzt angedeuteten Ansicht nachzuweisen; hierfür genügt es, das submarine Relief der Atolle ins Auge zu fassen. Die Tiefseeuntersuchungen der letzten Jahrzehnte haben übereinstimmend nachgewiesen, daß alle durch Organismen außerhalb der Seichtsee gebildeten Kalkabsätze durchaus aus losem Material bestehen, und daß der von diesem bedeckte Meeresboden stets horizontal oder fast horizontal ist; die einzige Ausnahme von dieser Regel bilden die Bauten der Korallen, die sich sehr häufig in jähster Steilheit erheben. Wir kennen absolut keine Bildungsweise für kompakte submarine Kalke mit steiler Böschung in einer Tiefenregion, in der riffbildende Korallen nicht mehr fortkommen; es fällt aber z. B. das Keeling-Atoll im Indischen Ozean bis zu einer Tiefe von mehr als 650 m unter dem Wasserspiegel mit einer Neigung von etwa 50° ab, und andere Beispiele für steilen Absturz in größere Tiefen als die von Riffkorallen bewohnten, liegen in beträchtlicher Zahl vor. Alle diese Fälle sind für jede andere Theorie als die von Darwin und Dana absolut unerklärlich und widerlegen die vorhin erwähnten Annahmen, die eine lokale Sedimentanhäufung aus großer Tiefe bis in den Bereich der Riffkorallen voraussetzen, von selbst.

Der „Blumentopf", letzter Rest einer vom Meere zerstörten Koralleninsel am Stewart-Atoll. (Nach F. v. Hochstetter.) Vgl. Text, S. 621.

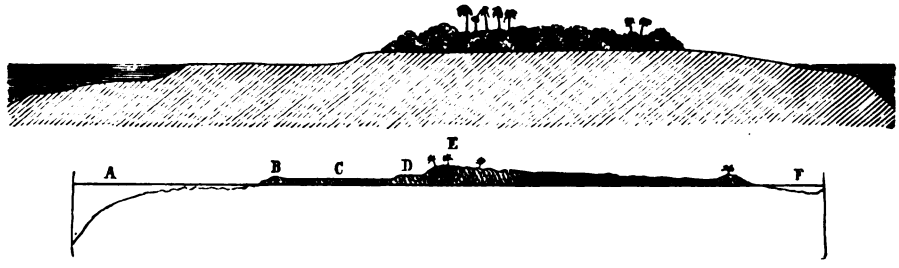
Durch die beständige Durchsickerung mit kalkhaltigem Meerwasser tritt eine Umkristallisierung der Teilchen ein, und die organische Struktur der abgestorbenen Riffkorallen geht rasch verloren.

Ansicht eines echten Atolles. (Nach J. Dana.) Vgl. Text, S. 618.

Aber noch ein anderer Umstand wirkt hier mit, derselbe, dem es auch zuzuschreiben ist, daß im Riffkalkstein oft kaum eine schwache Spur von der reichen Meeresfauna zu finden ist, die die Korallenriffe belebt. Die Wellen, die fortwährend mit furchtbarer Gewalt gegen die Außenseite des Riffes anschlagen, brechen Stücke abgestorbener Korallen ab und werfen sie samt Muscheln, Echinodermen und anderen Tieren, die zwischen den Ästen jener leben, auf die flache Oberseite

des Riffes. Besonders starke Stürme und noch mehr die gewaltigen Erdbebenwellen, die über den Ozean weggehen, reißen sogar große Blöcke los und schleudern sie auf das Riff. Jede folgende Woge bedient sich dieser Stücke als Mahlsteine, rollt sie hin und her, und so entsteht aus allen den prächtigen Schalen und Korallenästchen ein feiner Grus, der sogenannte Korallensand. Sehr wesentlich wird dieser Prozeß durch die Thätigkeit einer Menge von Tieren befördert: zahllose bohrende Muscheln, Würmer, Schwämme führen ihre Gänge in die Korallenstöcke und zermahlen dabei deren Material zu feinstem Schlamm; gewisse Fische leben ausschließlich von den Korallentieren, und indem sie deren Stöcke gleichsam abweiden, zermalmen sie mit ihren Zähnen die kalkigen Ränder der Zellen; in derselben Weise sind auch manche Holothurien und namentlich zahllose Krebse wirksam. Der so entstandene feine Sand wird nun von den weitverzweigten Korallenstöcken aufgefangen, er häuft sich ferner auf der Oberfläche der Riffe an, erhärtet allmählich und bildet dann den sogenannten **Riffstein**, einen so dichten und kompakten Kalk, daß man ihn für ein Gestein einer alten Formation, nicht für das jüngste Produkt der Thätigkeit des Meeres halten möchte. Stellenweise bilden sich auch Konglomerate, indem abgerollte Kalkstücke durch festes Bindemittel miteinander verkittet werden.

Die Pfingstinsel. (Nach Darwin.) Vgl. Text, S. 621 und 623.



Durchschnitt eines Korallenriffes: das Wasser im Stande der Ebbe gezeichnet; links offenes Meer, rechts die Lagune. (Nach J. Dana.) Vgl. Text, S. 622 und 623.

Dieser Riffstein setzt fast den ganzen Bau zusammen, und nur an den äußersten Rändern befinden sich die lebenden Stöcke, die vermöge ihres fortwährenden Wachstums die Zerstörung des Riffes durch die Meeresbrandung verhindern. Oft ist selbst der Rand nicht ganz mit wachsenden Stöcken bedeckt, sondern auch hier sind bisweilen weite Strecken abgestorben.

Das feine Kalkzerreibsel wird nicht nur auf die Oberfläche des Riffes geschwemmt, es sinkt auch an dessen Außenseite nach abwärts; hier setzt es sich in Höhlungen und Unebenheiten fest und bedeckt die Flanken mit kalkigem Sand und Schlamm. Neue Lagen desselben Stoffes lagern sich darüber, soweit die Neigung des Abfalles das Liegenbleiben von Sediment gestattet, und so bilden sich an der Außenseite des Riffes geneigte Schichten von Kalk, sogenannte **Übergußschichten**, die den Bau mantelförmig umgeben. Man hat diese Lagerung auch an fossilen Korallenriffen beobachtet, wie z. B. an den Dolomitriffen der Triasformation von Südtirol (s. Abbild., S. 622).

Die bauende Thätigkeit der Korallen und der sie begleitenden marinen Tiere und Pflanzen kann kaum über den Stand der tiefsten Ebbe hinausreichen und nie unmittelbar zur Bildung von festem Lande Anlaß geben. Dies geschieht nur durch die Trümmer, die die Brandung auf die

Riffläche wirft; die Kalkbruchstücke werden von den Wogen über den breiten Rücken dieser Fläche getragen und dort abgelagert. So bilden sich bald größere, bald kleinere Partien von aufgehäuftem Detritus, die so hoch reichen, als die stärkste Sturmflut noch Material emporzupeitschen vermag. Aber noch höher können die festen Massen steigen, denn wenn sich das Meer wieder in sein normales Niveau zurückgezogen hat, ist der Wind für sich allein thätig und weht den feinen Kalksand dünenartig zusammen. Die losen Massen erhärten dann allmählich durch die Thätigkeit des in ihrem Inneren zirkulierenden Wassers, und so entstehen die berühmten **Koralleninseln**, die bald nur vereinzelt auf verschiedenen Teilen der Atollfläche stehen (s. Abbildung, S. 618), bald

Ursprünglich geneigte Rifkalkschichten von den Bermudas. (Nach Wyville Thomson.) Vgl. Text, S. 623.

einen großen Teil ihres Ringes bedecken und in seltenen Fällen, wie z. B. auf der S. 620 oben abgebildeten Pfingstinsel, den ganzen Kreis in festes Land verwandeln. Das Meer, das diese Schöpfung aus seinem Grunde hervorgebracht hat, sorgt auch dafür, daß das neugebildete Land nicht kahl bleibe; Strömungen bringen die Samen verschiedener Pflanzenarten, besonders Kokosnüsse, herbei, die Keime gehen auf, und allmählich bekleidet sich der grell weiße Kalkfels mit üppiger Vegetation. Tausende von Menschen bewohnen die zahllosen Koralleninseln des Stillen und des Indischen Ozeans auf diesen schmalen Streifen kalkigen Landes, die nur durch die fortwährende Wachstumsthätigkeit der Korallen und Nulliporen ihr Dasein fristen und ohne den Schutz dieser winzigen Organismen in wenigen Jahren vom tosenden Ozean wieder vernichtet wären. Aber nicht immer ist dieser Schutz ausreichend, und so manche Insel ist im Laufe der Zeit vom Meere wieder verschlungen worden, so daß bisweilen nur noch schwache Ruinen davon vorhanden sind (s. die obere Abbild., S. 619). Von mancher sind die Einwohner weggespült worden, wenn gleichzeitig mit einer Springflut ein ausnahmsweise heftiger Orkan eintrat; vor allem aber werden die

gewaltigen Erdbebenwellen gefährlich. Bei sehr starken Erdstößen, wie sie namentlich an der Westküste von Südamerika vorkommen, gerät auch das Wasser des Meeres in Bewegung, und einige breite, schwere Wogen wälzen sich dann über die ganze Ausdehnung des Stillen Ozeans; mit vernichtender Gewalt branden sie an die Koralleninseln heran, viele von ihnen überflutend und Tod und Verwüstung verbreitend, bis sich die Kraft der Wellen an den fernen Küsten von Australien, von China und Japan bricht (s. S. 315).

Der Umriß und die Größe der Atolle sind sehr verschieden; manche sind kreisförmig, einige elliptisch oder von ganz unregelmäßiger Gestalt, einige haben einen Durchmesser von wenigen (englischen) Meilen, und bei anderen steigt er auf 30, 60, ja bis zu 80 engl. Meilen. So ge-

Übergußschichtung des Schlerndolomits am Pordoijoch. (Nach E. von Mojsisovics.) Vgl. Text, S. 620.

waltig aber auch in manchen Fällen diese Dimensionen sind, so gering ist die Breite des eigentlichen Riffes, das die Lagune im Inneren vom offenen Meere trennt; in der Regel hat es nur 1/4 und selten mehr als 1/2 engl. Meile Durchmesser. An dem äußersten, von der stärksten Brandung heimgesuchten Rande (A der unteren Abbildung auf S. 620), der nur bei tiefster Ebbe genau untersucht werden kann, besteht das Riff vorwiegend aus großen Stöcken Poriten und Milleporen, zwischen denen tiefer eingeschnittene Kanäle verlaufen. Diese Region wird gegen das Innere des Atolls in sehr vielen Fällen von einem schmalen Streifen begrenzt, auf dem Kalkalgen üppig gedeihen und fast für sich allein einen als Wellenbrecher für die Erhaltung des Riffes höchst wichtigen Wall von etwa 1 m Höhe rings um das Atoll bilden (B). Hinter diesem Walle liegt die sogenannte Ebene des Riffes (C), eine Fläche von horizontalem Korallengestein, die nur bei Flut vom Wasser überspült wird. Auf dieser Ebene bilden sich nun die Inseln, meist 200—300 m vom Rande des Riffes entfernt. Zunächst erhebt sich ein steiler Absturz

von etwa 2—3 m Höhe, der bei Hochwasser noch umwaschen wird (D), und über ihm steigt eine bisweilen auch zu festem Gestein erhärtete Anhäufung von Korallensand auf, zu der das Meer nur bei starken Stürmen emporreicht; hier entwickelt sich die Landvegetation (s. mittlere Abbildung, S. 620), und hier ist die Wohnstätte der Insulaner, die auf diesem schmalen Streifen Landes (E) mitten im brandenden Meere ihre Wohnstätte aufgeschlagen haben.

Was dem Geologen, dem das seltene Glück zu teil wird, seinen Fuß auf eine dieser Inseln zu setzen, in hohem Grade auffällt, ist das Aussehen der Gesteine, die zum Teil ganz dichte Kalke sind, wie sie sonst nur in Ablagerungen alter Formationen auftreten, und wie man sie in einem Terrain, das eben erst dem Meere neugebildet entstiegen ist, nicht erwartet. Aber nicht nur die Beschaffenheit, auch die Lagerung des Kalkes ist oft sehr befremdend. Der Wind weht den losen Kalksand über die Inseln hin und lagert ihn wieder ab, es bilden sich Dünen, und jeder neue Sturmwind legt auf die vorhandene Böschung eine neue Lage des feinen kalkigen Materials. So entstehen Hügel von fein zerriebenem Korallensand, die eine stark geneigte Schichtenlage zeigen, und durch die Wirkung des durchsickernden Wassers erhärten diese steil einfallenden Bänke zu dichtem Kalk. Auffallend entwickelt ist diese Erscheinung auf den Bermudasinseln; die Abbildung auf S. 621 gibt eine Ansicht solcher vom Winde zusammengeblasener Kalkschichten.

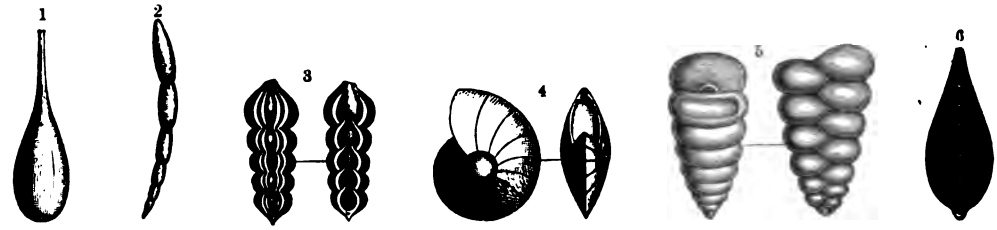
Nach Überschreitung des Riffes gelangt man an die Lagune, einen glatten, ruhigen Wasserspiegel. Auf ihrem Boden finden sich auch Korallen, jedoch meist andere, zarter gebaute Arten als an der brandenden Außenseite. Ein überaus reiches und üppiges Tierleben von zahllosen Muscheln und Schnecken, von Stachelhäutern ꝛc. hat sich in dem warmen, vor stürmischer Bewegung gesicherten Becken angesiedelt, dessen Boden teilweise von feinem Kalksand oder -Schlamm bedeckt ist. Nur selten ist die Lagune, wie es bei der S. 620 abgebildeten Pfingstinsel der Fall ist, vom Riff in einem ganz geschlossenen Ringe umsäumt. In der Regel ist das Riff von Kanälen durchbrochen, die oft breit und tief genug sind, Schiffen die Einfahrt in den sicheren Ankerplatz der Lagune zu gewähren. Die Entstehung dieser Kanäle ist auf die alte Zeit zurückzuführen, in der noch eine zentrale Insel, von einem Barrierriff umgeben, in der Mitte vorhanden war; den einstigen Bächen und Flüssen, die ihr süßes Wasser und ihren Schlamm ins Meer ergossen, entsprechen Lücken im Riff, und diese haben sich dann auch späterhin erhalten, als die zentrale Insel überflutet und das Ganze in ein Atoll verwandelt war.

Kalkbildung durch Foraminiferen. Weißer Tiefseeschlamm.

So gewaltig die Bauten der Korallen sind, und so große Massen von Kalkstein sie auch liefern, so ist doch ihr Vorkommen beschränkt. Ganz anders verhält es sich dagegen mit den kalkigen Absätzen, die von den Schalen von weit niedriger als die Korallen organisierten Tieren, den Foraminiferen (s. die Abbildungen auf S. 624), gebildet werden.

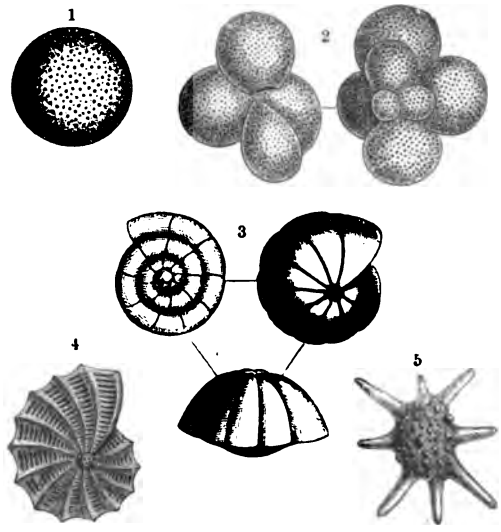
Lange Zeit hatte man keine Ahnung von der Existenz der zahllosen Mengen dieser Tierchen. Im Jahre 1731 entdeckte der italienische Naturforscher Beccari im Meeressand an der Küste von Ravenna unter der Lupe eine ungeheure Menge kleiner, überaus zierlicher Kalkschälchen; bald fand man sie auch an verschiedenen anderen Punkten, und allmählich überzeugte man sich, daß sie zu den verbreitetsten Gebilden in allen Meeren gehören. Von der kolossalen Menge, in der sie vorkommen, mag die Angabe einen Begriff geben, daß nach einer sehr gewissenhaften Schätzung von Max Schultze der Sand vom Molo di Gaeta bei Neapel nach Absiebung der größeren Partikeln in einer Unze etwa $1^1/_2$ Million solcher Gehäuse enthält, die ungefähr die Hälfte der ganzen Masse des Sandes ausmachen.

Nahe der Küste finden sich die Foraminiferenschalen fast überall mit Sand und Schlamm gemischt, nur an wenigen Stellen setzen sie Ablagerungen fast ausschließlich zusammen. Mit diesen küstennahen Anhäufungen von verhältnismäßig großen Foraminiferen sind offenbar gewisse Bildungen aus älteren Perioden in Vergleich zu setzen, die schon vor langer Zeit die Aufmerksamkeit auf sich gelenkt haben, wie besonders die Nummulitenkalke der älteren Tertiärzeit



Verschiedene Foraminiferen, stark vergrößert: 1) Lagena, 2) Dentalina, 3) Nodosaria, 4) Cristellaria, 5) Textularia, 6) Frondicularia. Vgl. Text, S. 623.

(s. Abbildung, S. 625). Es sind dies mächtige Kalkablagerungen, die wesentlich oder selbst ausschließlich aus großen, spiralgebauten Foraminiferen, Nummuliten, aufgebaut sind. Aber während die Vorkommnisse aus der Jetztwelt nur lokale Anhäufungen sind, reichen die Nummulitenkalke von den Pyrenäen bis an den Stillen Ozean, und wir kennen mächtige Bergzüge, die daraus bestehen. Andere derartige Kalke der Tertiärzeit sind aus Alveolinen zusammengesetzt, und auch zur Zeit der Kohlenformation ist eine ähnliche Kalkbildung aus Fusulinen erfolgt. Im Pariser Becken setzen winzige Foraminiferen die Schichten des Kalkes zusammen, aus dem ein großer Teil der Stadt Paris gebaut ist.



Verschiedene Foraminiferen, stark vergrößert: 1) Orbulina, 2) Globigerina, 3) Rotalia, 4) Polystomella, 5) Calcarina. Vgl. Text, S. 623.

Die gewaltige Verbreitung des Nummulitenkalks der älteren Tertiärzeit und des Fusulinenkalks der Kohlenformation sind wohl als ausnahmsweise Erscheinungen zu betrachten, in der Jetztwelt wenigstens bilden die Foraminiferen der Litoralzone und der Seichtsee meist doch nur einen verhältnismäßig geringen Teil des Sediments. Dagegen besteht weiter entfernt vom Strande, in den Regionen, wohin vom Ufer aus kein oder nur sehr wenig mechanisches Sediment gelangt, die den Meeresboden bedeckende Ablagerung über sehr große Strecken hin vorwiegend aus den Gehäusen dieser kleinen Tiere.

Schon seit längerer Zeit hatte man beobachtet, daß an verschiedenen Stellen des Ozeans das Senkblei aus großen Tiefen Proben eines großenteils aus Foraminiferen bestehenden Absatzes heraufbrachte, allein diese Funde fanden damals wenig Beachtung, und namentlich, seit E. Forbes im Jahre 1843 die Tiefengründe des Ägeischen Meeres untersucht und in Tiefen von mehr als 500 m keine Anzeichen tierischen Lebens mehr gefunden hatte, befestigte sich allmählich die Meinung, daß die Tiefsee überhaupt leblos sei. Die Forschungen von E. Forbes waren

nichtsdestoweniger von großer Bedeutung; er zeigte, daß verschiedene Tierformen speziell in bestimmten Tiefen vorkommen, er unterschied verschiedene Regionen vom Strande bis in die größten Tiefen, die er mit seinen Apparaten erreichen konnte, und legte hierdurch den Grund für einen sehr wichtigen Zweig der Tiergeographie, der auch auf die Entwickelung der Geologie und Paläontologie großen Einfluß übt.

Die Vermutung, daß derselbe Mangel an organischem Leben wie im Ägeischen Meer auch in den Tiefen anderer Ozeane vorhanden sei, hat sich aber nicht bestätigt; es stellten sich immer mehr Anzeichen des Gegenteils ein, aber erst die Untersuchungen der nordischen Forscher Sars und Torell verbreiteten wie mit einem Zauberschlag Licht über die Natur der großen Meerestiefen und gaben die Anregung zu den zahlreichen und umfassenden Untersuchungen ähnlicher Art, die seither angestellt worden sind. Zunächst wurden in Nordamerika Expeditionen ausgeschickt, um den westlichen Teil des Atlantischen Ozeans von Westindien nach Norden hin zu untersuchen; von Deutschland aus wurde eine sehr gründliche Erforschung der Nord- und Ostsee in Angriff genommen; weitaus die großartigsten Unternehmungen aber gingen von England aus, wo Carpenter, Gwyn Jeffreys und vor allen Wyville Thomson die wissenschaftliche Leitung der Expeditionen in Händen hatten. Mehrfache Fahrten der Schiffe Lightning und Porcupine lehrten den Boden des Atlantischen Meeres von den Färöern bis Gibraltar und jenen des Mittelmeers bis Malta kennen; vor allem aber war es die epochemachende Expedition des „Challenger", die unter W. Thomson, mit einem ganzen Stabe von Naturforschern und in jeder Beziehung aufs vollständigste ausgerüstet, drei Jahre hindurch den Atlantischen und den Stillen Ozean bis ins Südliche Eismeer untersuchte. Ihnen schließt sich dann die Reise des deutschen Kriegsschiffs „Gazelle" an, das seine Forschungen im Atlantischen, Stillen und Indischen Ozean anstellte, ferner die Fahrten der amerikanischen Schiffe „Tuscarora" im Stillen Ozean und „Blake" im amerikanischen Mittelmeer. Die italienischen Schiffe „Washington" und „Vettor Pisani", der französische „Travailleur", die österreichische „Pola" erforschten das Mittelmeer, während der Fürst Albert von Monaco im Atlantischen Ozean, die Russen im Schwarzen Meer erfolgreiche Untersuchungen anstellten. Von großer Bedeutung endlich waren die Fahrten des deutschen Schiffes „National", die speziell der Untersuchung der auf der Oberfläche des Meeres dahintreibenden Tiere und Pflanzen, des sogenannten Planktons, gewidmet waren.

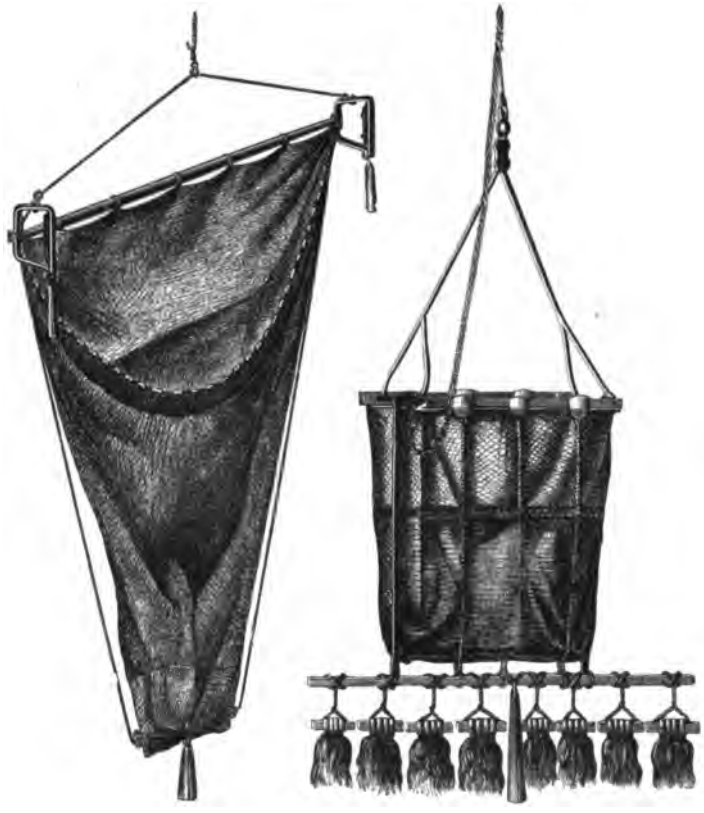
Nummulitenkalk. Vgl. Text, S. 624.

Mit diesen Forschungen beginnt eine neue Ära für die Geologie wie für die physische Geographie der Meere, und so rasch häufen sich die interessanten Erfahrungen und die wichtigen Folgerungen aus ihnen, daß wir heute die ganze Tragweite dieser Forschungen noch gar nicht ermessen können.

Die Aufgaben, die bei den großen Expeditionen der letzten Jahrzehnte verfolgt wurden, sind sehr verschiedener Art; die Zusammensetzung, das spezifische Gewicht, der Gasgehalt und die Temperatur des Meerwassers an der Oberfläche und am Grunde, die Tiefe des Ozeans,

das Relief seines Bodens, die Absätze, die diesen bedecken, und die Organismen, die sich finden, waren zu untersuchen und eine lange Reihe anderer Fragen zu beantworten. Für den Gegenstand, der hier in Rede steht, war namentlich die Untersuchung mit dem Schleppnetz oder der Dredsche von großer Wichtigkeit.

Die Konstruktion dieses Apparats ist ziemlich einfach: ein dreieckiges oder viereckiges Gestell von Schmiedeeisen, ungefähr 1½ m lang und ½ m breit, trägt den 1½ m langen Sack des Netzes; am hinteren Ende ist an einer Querstange eine Anzahl großer Flachsbüschel angebracht, in deren Gewirr sich sehr häufig größere Tiere verwickeln und auf diese Weise an die Oberfläche geschafft werden können (s. nebenstehende Abbildung). Statt dieses Schleppnetzes verwendet man auch häufig und mit gutem Erfolg die sogenannte Bügelkurre, einen Netzsack, dessen Eingang durch ein schweres eisernes Gerüst offen gehalten wird. Das Gerüst besteht aus zwei riesigen Steigbügeln von 1,2 m Länge und 0,8 m Weite, die durch zwei 3 m lange Eisenrohre miteinander verbunden sind. Diese Apparate werden nun an Drahtseilen ins Meer hinabgelassen und durch die Bewegung des Schiffes über den Boden fortgeschleift, bis die Zeit zur Füllung des Sackes mit dem Schlamm des Bodens und seinen Tieren genügend erscheint; dann wird das Ganze zur Untersuchung wieder heraufgeholt. In neuerer Zeit bedient man sich außerdem der Tiefseereusen, die, ähnlich gebaut wie gewöhnliche Fischreusen, 10—12 Stunden am Grunde des Ozeans gelassen und dann erst heraufgezogen werden.

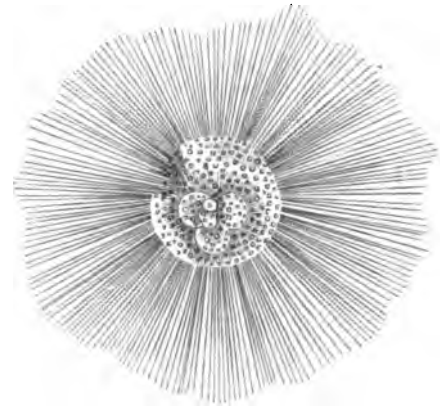


Schleppnetze oder Dredschen, zur Untersuchung des Meeresgrundes verwendet.

So einfach dieser Vorgang in der kurzen Beschreibung erscheinen mag, so schwierig ist er in Wirklichkeit, und so vielen Zufälligkeiten ist sein Erfolg unterworfen. Das Netz wird unter Umständen in eine Tiefe bis zu einer deutschen Meile hinabgelassen, und das Abwickeln und Wiedereinziehen des riesigen Seiles ist allein schon keine einfache Operation. Das Tau läuft über eine Rolle an der großen Raa eines Mastes, das Netz wird über Bord geworfen und sinkt nun anfangs durch sein eignes Gewicht rasch unter; nach einiger Zeit aber vermag es das Seil nicht mehr nachzuziehen, und nun müssen an dieses Gewichte (von 100—150 kg) angehängt werden. An dem Taue sind in bestimmten Entfernungen kleine Netze angebracht, die den Boden nicht

erreichen und dazu dienen, die in verschiedenen Tiefen schwimmenden Tiere aufzufangen. Endlich wird der Apparat durch die Dampfmaschine des Schiffes wieder aufgezogen; Stunden vergehen, ehe dieses langwierige Geschäft beendet ist. Der Sack erreicht die Oberfläche und gelangt zur Untersuchung; oft hat man einen reichlichen Fang, aber oft genug war alle Mühe umsonst: die Leine war zu kurz, als daß sie bis auf den Boden hätte reichen können, oder eine unterseeische Strömung hat dies verhindert, das Wasser hat den Inhalt des Netzes wieder herausgewaschen, ehe es emporkam, oder irgend ein anderer unglücklicher Zufall hat den Erfolg vereitelt.

So viele Enttäuschungen dieser Art aber im einzelnen auch vorkommen mögen, so sind doch die Resultate im ganzen genommen höchst bedeutungsvoll. Die Entdeckung eines reichen Lebens in Regionen, in die kein Strahl des Sonnenlichtes mehr drängt, und in denen der Druck des Wassers auf jedem Quadratmeter mit einem Gewicht von fast 10 Millionen kg lastet, geben Zeugnis davon. Von ganz besonderer Wichtigkeit sind die Ergebnisse für die Frage, die uns hier beschäftigt, für die Frage nach der Bildung von Kalkabsätzen durch niedere Organismen.



Mit Kalknadeln bedeckte Orbulina. (Nach Bütschli.) Vgl. Text, S. 628.

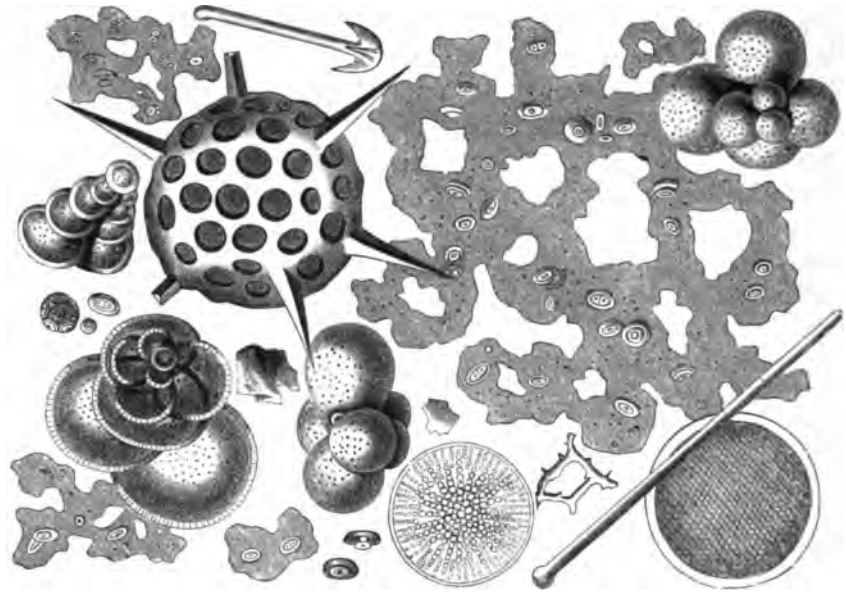
Wie schon früher erwähnt wurde, kommen die gewöhnlichen mechanischen Sedimente von Sand und Schlamm nur in einem verhältnismäßig schmalen Gürtel rings um das feste Land vor. Sobald man dieses Gebiet verlassen hat und weiter gegen die offene See vorrückt, ist der Meeresboden bis zu einer Tiefe von etwa 2200 Faden (ca. 4000 m) fast überall, wo das Wasser nicht zu kalt ist, ein eigentümlicher kalkiger Absatz, der namentlich im Atlantischen Ozean ungeheure Verbreitung erlangt. Frisch heraufgezogen, besteht er in einem gelblichen oder etwas gräulichen, klebrigen Schlamm, der beim Trocknen weiß wird, ein kreidiges Aussehen erhält und sich unter dem Mikroskop als ganz aus den Resten kleinster Organismen zusammengesetzt zeigt.

Kokkolithen und Kokkosphären. In 1000facher Vergrößerung. Vgl. Text, S. 628 und 629.

Insbesondere sind es Foraminiferen, die an seiner Zusammensetzung teilnehmen: in erster Linie die Gattung Globigerina, der die Bildung ihren Namen Globigerinenschlamm verdankt, ferner Orbulina und Pulvinulina. Teils in vollständiger Erhaltung, teils mehr oder weniger zerbrochen und durch die Einwirkung des Meerwassers angegriffen, liegen sie in ungeheuern Massen beisammen und stellen so das wesentlichste Element für die ausgedehntesten Kalkbildungen am Meeresgrunde dar.

Als diese merkwürdige Thatsache bekannt wurde, erhob sich sofort die Frage nach der Entstehung dieses eigentümlichen Absatzes. Leben die Foraminiferen am Grunde, oder schwimmen sie näher der Oberfläche im Wasser, und sinken die Schalen dann nach dem Tode der Bewohner unter; und haben wir im Globigerinenschlamm die riesige Nekropole der in höheren Regionen lebenden Tiere? Vor Jahren lebhaft erörtert, kann diese Frage heute als gelöst gelten. Die

Forschungen des „Challenger" haben das überraschende Resultat ergeben, daß die Globigerinen zu den pelagischen, auf der Oberfläche des Meeres treibenden Tieren, oder zum „Plankton" gehören. Die Oberfläche dieser winzigen Schälchen ist in frischem Zustande mit langen, zarten Kalknadeln bedeckt, die die Tierchen im Wasser zu schweben befähigen (s. Abbildung, S. 7 und S. 627). Wenn aber die Globigerinen und Orbulinen nach dem Tode wie ein ununterbrochener leiser Regen zu Boden sinken, brechen die Nädelchen ab, und die Schälchen werden während der langen Fahrt vom Meerwasser umsomehr angegriffen, je tiefer sie hinabsinken. So kommt es, daß sich am Grunde der Tiefsee fast nur die abgestorbenen Gehäuse ansammeln, und diese stets eine matte, angegriffene Oberfläche ohne Nädelchen haben.



Tiefseeschlamm mit Foraminiferen, Radiolarien, Diatomeen, Schwammnadeln, Kokkolithen und sogenanntem Bathybius. (Nach Haeckel.)

Aber nicht die genannten Foraminiferengattungen allein bedingen die Zusammensetzung des Globigerinenschlammes; noch andere Sippen (s. obenstehende Abbildung) und mannigfache Reste anderer Kalk absondernder Tiere, ferner kieselschalige Radiolarien, nehmen, wenn auch in untergeordnetem Maße, daran teil. Eine sehr beträchtliche Rolle in der Zusammensetzung des weißen Kalkabsatzes spielen überaus kleine, nur bei starker Vergrößerung sichtbare Körper, die scheiben- oder stabförmigen Kokkolithen (Kernsteinchen), Kokkosphären (Kernkugeln) und Rhabdolithen (Stabsteinchen). Die Kokkolithen sind runde oder elliptische Kalkscheibchen, meist mit einem Kern in der Mitte, die selbst bei 1000facher Vergrößerung (s. Abbildung, S. 627) noch sehr klein erscheinen, während die Rhabdolithen entsprechend kleine, stabförmige Kalkpartikeln sind, die ebenfalls zu kugeligen Massen, den Rhabdosphären (Stabkugeln), vereinigt auftreten können (s. Abbildung, S. 629).

Über die Herkunft dieser winzigen Körper war man lange Zeit im Zweifel. An sie knüpft sich eine Verirrung in dem übereilten Streben nach Bestätigung der Darwinschen Deszendenzlehre. Die ersten genauen mikroskopischen Untersuchungen des weißen Tiefseeschlammes wurden an Proben angestellt, die in sehr starkem Weingeist aufbewahrt worden waren. Hier sah man nun eine eigentümliche schleimige, flockige Substanz, in die massenhaft Kokkolithen eingebettet

waren; sie sah ganz so aus wie das Protoplasma, die Eiweißsubstanz, bei den niedrigsten Organismen, und dafür wurde sie auch gehalten. Es sollte belebtes Protoplasma sein, ohne Struktur, ohne bestimmte äußere Form und Begrenzung, das in zusammenhängenden Massen ohne Sonderung in Individuen den Meeresboden bedeckte und sich dort unmittelbar aus unorganischen Stoffen bildete. Rhabdolithen und Kokkolithen galten als innere Ausscheidungen dieses merkwürdigen Organismus, der den Namen Bathybius („in der Tiefe lebend") erhielt. Man erinnerte sich der alten Hypothese Okens und anderer Naturphilosophen, daß sich auf dem Grunde des Meeres aus unorganischen Stoffen der organisierte „Urschleim" bilde, aus dem sich alles Leben entwickele. Das Bindeglied zwischen unorganischer und organischer Natur, das die Rätsel der Entstehung des Lebens löst, schien gefunden. Leider kam es anders, und der Bathybius wurde „nach kurzem, aber ruhmreichem Dasein" aus der Reihe der Lebenden gestrichen.

Auch in diesem Punkte haben die Ergebnisse der Challenger-Expedition das Richtige erkennen lassen. Trotz der sorgsamsten Untersuchung war in frischen Bodenproben niemals eine Spur von Bathybius zu finden; erst wenn man den Schlamm zur Aufbewahrung in starken Alkohol setzte, zeigte sich die eigentümliche flockige Trübung. Man prüfte die Flocken auf chemischem Wege näher, und es ergab sich, daß sie lediglich aus einem Gipsniederschlag bestehen, der allerdings unter dem Mikroskop große Ähnlichkeit mit Protoplasma hat. Das Meerwasser enthält bekanntlich eine ziemlich beträchtliche Menge von schwefelsaurem Kalk, der in Alkohol nur sehr schwer löslich ist und sich deshalb beim Zusatz von Weingeist als flockiger Niederschlag ausscheidet. Was aber die kleinen Kalkkörper der Kokkolithen und Rhabdolithen betrifft, die zu Billionen und Trillionen den Meeresgrund bedecken, so hat man sie als pelagische Algen erkannt, die am besten in den Strömungen des offenen Ozeans gedeihen und wie die Globigerinen nach dem Tode langsam zu Boden sinken.

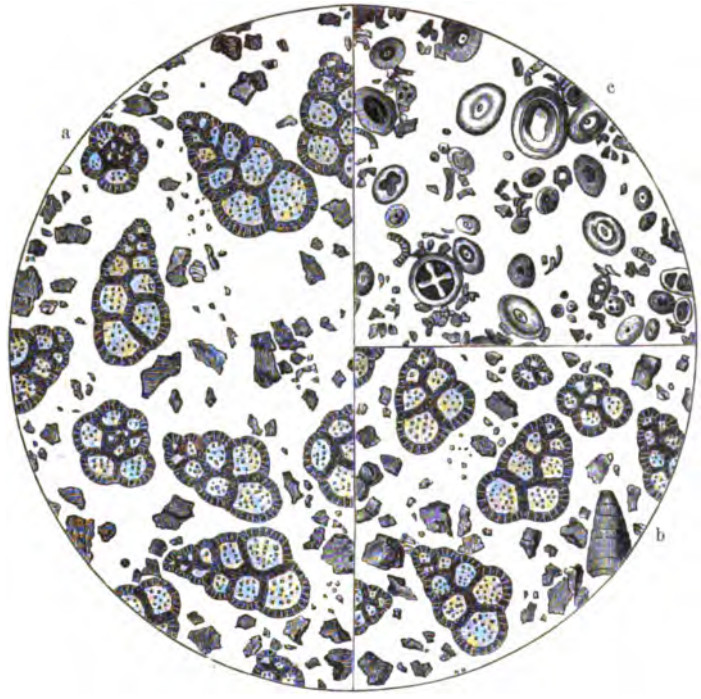
Rhabdosphäre, sehr stark vergrößert. (Nach Wyville Thomson.) Vgl. Text, S. 628 und 629.

In dem Globigerinenschlamm finden sich neben den zahllosen Resten kleiner kalkiger Organismen nicht selten auch Körperchen, die aus Kieselsäure gebildet sind. In erster Linie sind hier die Überreste gewisser Schwämme zu nennen. Das feste Gerüst der Seeschwämme oder Spongien ist bald hornig, wie z. B. beim Badeschwamm, bald kalkig, bald kieselig. Während die harten Teile der Horn- und selbst der Kalkschwämme meist zu vergänglich sind, als daß sie sich erhalten könnten, besteht das Skelett der Kieselschwämme aus kräftigen und oft sehr großen, überaus mannigfach geformten und in verschiedener Weise miteinander verwachsenen Nadeln. Noch vor kurzem glaubte man, daß diese Kieselschwämme in der Jetztzeit bis auf wenige seltene Vertreter ganz ausgestorben seien, als die neueren Untersuchungen die Existenz zahlreicher und weitverbreiteter Repräsentanten dieser sogenannten Glasschwämme (s. Abbildung 2, S. 631) in der Tiefsee nachwiesen. Und in noch weit größerer Menge bewohnten diese prachtvollen Geschöpfe die Meere der Vorzeit.

Nach dem Tode des Tieres zerfällt das Kieselgerüst meist in die einzelnen Nadeln. In der Jetztzeit allerdings sind sie auf dem Meeresboden nur in geringer Menge verstreut, aber früher

war das anders; wir kennen durch die Untersuchungen von Gümbel und Zittel Gesteine der Kreideformation aus Norddeutschland und aus den Karpathen, die ganz aus solchen Schwammnadeln (s. Abbildung 1, S. 631) bestehen.

Von weit größerer Bedeutung als die Spongien sind in den jetzigen Meeren die Radiolarien, den Foraminiferen verwandte, aber etwas höher organisierte, winzige Tierchen, die überaus zierliche Kieselgerüste von sehr wechselnder Form besitzen: bald sind es gitterartig durchbrochene Glocken oder Kugeln, die oft zu mehreren ineinander stecken, bald einfachere Gerüste, aus der Verschmelzung nadelförmiger Teile bestehend. Auch sie schwimmen, gleich den Globigerinen und Orbulinen, im Meerwasser, sinken nach ihrem Tode zu Boden und werden mit jenen gemeinsam, aber in geringerer Menge im Globigerinenschlamm eingebettet. In einigen Gegenden bilden sie aber auch selbständig Ablagerungen, die wir im nächsten Kapitel besprechen werden. Endlich liefern noch die mikroskopischen, mit einem zierlichen Kieselpanzer ausgestatteten Diatomeen oder Stückelalgen Kieselsubstanz für den weißen Tiefseeschlamm. Auch diese Formen sind im Meer sehr verbreitet, kommen aber nur in wenigen Gebieten in solchen Mengen vor, daß sie kieselige Ablagerungen fast ausschließlich zusammensetzen, wie dies am Rande des Südlichen Eismeeres der Fall ist.



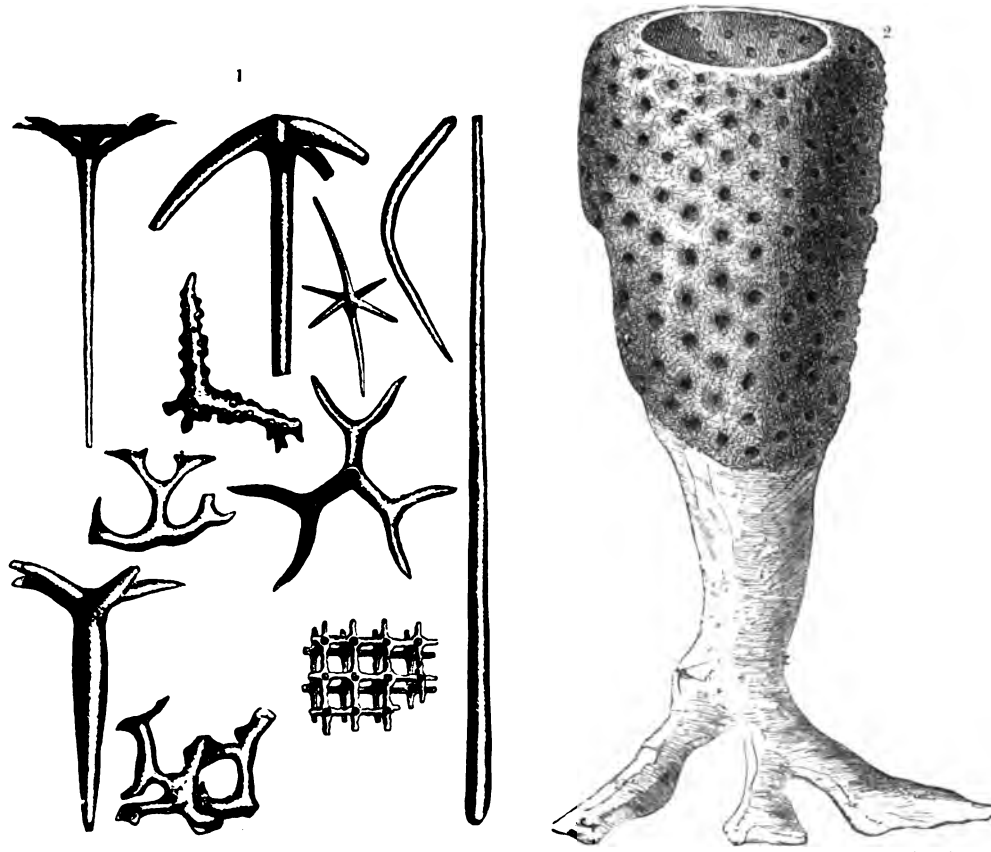
Schlämmrückstand von weißer Kreide: a) aus Sussex, b) aus der Libyschen Wüste (150fach vergrößert), c) getrockneter Rückstand aus milchiger Kreideflüssigkeit (1200fache Vergrößerung). (Nach Zittel.)

Die Diatomeen halten sich auch in süßem Wasser auf und bilden da mit ihren Gehäusen den Polierschiefer, wie er z. B. bei Bilin in Böhmen auftritt, sowie die Kieselgur, lockere, aus staubartig verbundenen Teilchen bestehenden Massen von kreideartigem Aussehen. Der Untergrund eines großen Teiles von Berlin besteht aus einem Lager dieses Materials, das auch sonst noch vielfach in der norddeutschen Ebene und in manchen anderen Gegenden vorkommt.

Kein anderes Kalksediment nimmt in den jetzigen Meeren auch nur entfernt einen so großen Flächenraum ein wie der Globigerinenschlamm, und seine riesige Verbreitung legt die Vermutung nahe, daß auch in früheren Perioden der Erdgeschichte ähnliche Bildungen entstanden sein müssen. In der That kennen wir eine verwandte Ablagerung in der weißen Kreide (s. obenstehende Abbildung), die in ähnlicher Ausbildung von England und Skandinavien bis Nordafrika und Syrien verbreitet ist. Auch hier bilden Foraminiferen und noch mehr Kokkolithen die Hauptmasse, wenn auch andere Gattungen der ersteren, namentlich Textularien und Rotalien (s. die Abbildungen, S. 624), die bedeutendste Rolle spielen. Wie der Globigerinenschlamm kieselige Massen

führt, so sehen wir auch in der Kreide Kieselsäure organischer Herkunft in Form von Feuersteinknollen ausgeschieden. Schwammnadeln und Gerüste, Radiolarien und Diatomeen haben den Stoff für diese Bildungen geliefert.

Noch vollkommener aber scheinen gewisse dichte, rote und weiße, hauptsächlich in den Alpen vorkommende Kalke dem weißen Tiefseeschlamm zu entsprechen. Unter dem Mikroskop erkennt man, daß sie zahlreiche Foraminiferen und Kokkolithen, dazwischen einzelne Radiolarien enthalten und von mechanischen Sedimenten ganz frei sind. Die in diesen Kalken eingeschlossenen Ammoniten (eine ausgestorbene Gruppe der Kopffüßer, der höchstorganisierten Ordnung der



1) Schwammnadeln. (Nach Zittel.) 2) Ein Glasschwamm aus der Tiefsee. Vgl. Text, S. 629 und 630.

Mollusken, s. S. 41) sind bisweilen gut erhalten, nicht selten aber sind sie auch in einer Weise entstellt, die auf stattgefundene Lösungsvorgänge schließen läßt. In manchen solchen Ablagerungen fehlen die Ammonitengehäuse, dagegen sind deren schwerlösliche Deckel, die sogenannten Aptychen, oft in großer Menge vorhanden. Daß diese Ammoniten- und Aptychenkalke oft in Radiolariengesteine übergehen, erhöht noch die Analogie mit dem Globigerinenschlamm, der ja gleichfalls Übergänge in Radiolarienschlamm erkennen läßt. Auch das Vorkommen von manganhaltigen Konkretionen und Krusten im Ammonitenkalk erinnert an die Verhältnisse der Tiefsee, in der nach den Forschungen des „Challenger" manganreiche Konkretionen oft in großer Menge verbreitet sind.

Wo sich der Globigerinenschlamm in der Nähe der Festländer mit deren Sediment, Sand oder Blauschlamm, mengt, entsteht eine sehr merkwürdige Ablagerung, der Glaukonitsand.

Als Glaukonit bezeichnet man ein grünliches Kali- und Eisensilikat in Verbindung mit Thonerde, Bittererde und Kalkerde, das in den Gesteinen stets nur als Ausfüllungsmasse von Foraminiferenschälchen vorkommt. Dieselbe Erscheinung wiederholt sich in den jetzigen Meeren; auch da schlägt sich der Glaukonit durch die Einwirkung der organischen Substanz im Inneren der Schälchen nieder, die in typischen Glaukonitsanden 40—50 Prozent der ganzen Masse ausmachen. So erscheint der Glaukonitsand als eine teils organogene, teils klastische, teils chemische Ablagerung und er nimmt auch nach seinem Bildungsraum eine Mittelstellung ein: er ist keine echte Flachseebildung, fehlt aber auch den großen Tiefen, dagegen tritt er an der Grenze beider Regionen in großer Verbreitung auf. Was dieser Bildung ferner noch ein besonderes Interesse verleiht, ist der Umstand, daß man damit völlig übereinstimmende Gesteine in allen Formationen vom Kambrium bis in das Tertiär nachgewiesen hat.

Roter Tiefseethon und Radiolarienschlick.

Mit zunehmender Tiefe werden die Schälchen des Globigerinenschlammes undeutlich, sie treten an Zahl mehr und mehr zurück, bis sie endlich in den größten Tiefen von 4000 m ab gänzlich verschwinden. An Stelle des Globigerinenschlammes tritt ein kalkfreier, knetbarer roter Thon, worin Foraminiferen fast vollständig fehlen. Obwohl die pelagischen Foraminiferen auf der Oberfläche des Meeres allgemein verbreitet sind, also auch in den Gebieten des roten Tiefseethones niedersinken müssen, bringt sie doch das Schleppnetz auch aus den größten Tiefen nicht herauf. Es ist hier nur eine Erklärung möglich: das Meerwasser muß infolge des etwas größeren Kohlensäuregehaltes, den es in den größten Tiefen hat, und wohl auch infolge des kolossalen Druckes, der in jenen Abgründen herrscht, weit mehr befähigt sein, die Kalkschalen der Foraminiferen aufzulösen. Dafür spricht auch der Umstand, daß in den Sedimenten, die einen Übergang zwischen Globigerinenschlamm und rotem Thon bilden, die Kalkschalen ein angefressenes Aussehen haben, als wenn sie mit Säure behandelt worden wären.

Der Ursprung des roten Thons scheint in verschiedenen Gebieten zu liegen. Die Hauptmasse besteht wohl sicher aus vulkanischen Stoffen und deren Zersetzungsprodukten, namentlich sind, wie das Mikroskop beweist, feine vulkanische Aschen und Bimssteinteilchen häufig vorhanden. Wir wissen ja, daß vulkanische Aschen auf riesige Entfernungen verschleppt werden, und daß nach Eruptionen weite Meeresstrecken mit Bimsstein bedeckt sind, der durch das Spiel der Wellenströmungen und Winde in alle Meere entführt wird. Die Bimssteinpartien reiben sich im Schwimmen aneinander, feine Teilchen bröckeln ab und fallen langsam zu Boden. Submarine Eruptionen mögen ebenfalls Material liefern.

Das Mikroskop ergab aber auch das Vorhandensein winziger magnetischer Kügelchen, die bisweilen Schreibersit enthalten. Da aber dieses Mineral bisher nur aus Meteoriten bekannt ist (s. S. 104), betrachtet man diese Körperchen, die übrigens äußerst selten und äußerst klein sind, als kosmischen Staub. Natürlich müssen die vulkanischen und kosmischen Stoffe bei ihrer allgemeinen Verbreitung auch in den Globigerinenschlamm niederfallen, aber in diesem verschwinden sie völlig gegenüber der Masse des anderen Materials, während sie sich in den größten Tiefen rein erhalten. Das Anwachsen des roten Thons, der nur auf diese äußerst spärlich fließenden Quellen angewiesen ist, muß daher überaus langsam vor sich gehen. Sehr häufig und oft in großen Mengen beisammen findet man im roten Thon Zähne von Haifischen, Knochen, namentlich die äußerst soliden Ohrknochen (Bulla tympani) von Walen, endlich die schon beim Globigerinenschlamm erwähnten manganreichen Knollen, die oft in Massen vom Schleppnetz heraufgebracht werden. Die genannten Tierreste sind die Überbleibsel von Individuen,

die von der Oberfläche nach ihrem Tode zu Boden gesunken sind. Da die Haifische ein knorpeliges Skelett besitzen, so konnten sich von ihnen nur die Zähne erhalten; von den Walfischen bleiben zwar die Knochen nach der Verwesung der Weichteile zurück, aber auch von diesen scheint das Meerwasser die Mehrzahl aufgelöst und nur die allerfestesten und solidesten, namentlich die Bulla tympani, übriggelassen zu haben. Welch ungeheure Zeiträume müssen vergangen sein, ehe sich die Zähne und vereinzelten Knochen in so riesiger Menge ansammeln konnten!

Dazu kommt aber noch, daß sich unter den Haifischzähnen des roten Tiefseeschlammes auch solche finden, die nicht denen einer jetzt noch lebenden Art von Haien gleichen, sondern sich durch ihre außerordentliche Größe sowie durch ihre breite, an den Rändern gekerbte Gestalt von den Zähnen aller Repräsentanten der heutigen Arten unterscheiden. Sie stimmen ganz mit Zähnen überein, die man in vielen Gegenden nicht selten fossil in den Ablagerungen der Tertiärzeit findet und unter dem Gattungsnamen Carcharodon (s. nebenstehende Abbildung) beschrieben hat. Die verhältnismäßig dünne Lage von rotem Thon, die das Schleppnetz am Grunde aufzuwühlen im stande ist, reicht daher wahrscheinlich mit ihrer Bildung bis in eine Zeit zurück, in der noch die riesigen Carcharodonten gelebt haben, also mindestens bis in die obere Abteilung des Tertiärs, das Pliocän.

Ein Zahn von Carcharodon aus dem Tertiärthon von Baden bei Wien.

Weit verbreitet sind im roten Thon die Reste pelagischer Organismen mit Kieselschalen, denn diese sind ja der Auflösung durch kohlensäurehaltiges Wasser nicht zugänglich. In manchen Gegenden, besonders in den tropischen Teilen des Pazifischen Ozeans und im Indischen Ozean, nehmen die Radiolarienskelette derart überhand, daß ein förmlicher Radiolarienschlick entsteht. Auch er enthält Haifischzähne und Manganknollen und steht überhaupt dem roten Thon sehr nahe, tritt aber durchschnittlich in noch größeren Tiefen auf als dieser.

Ob unter den Gesteinen der Erdkruste solche vorkommen, die nach Art des roten Thons in den größten Meerestiefen entstanden sind, ist noch nicht erwiesen. Dagegen hat man gefunden, daß eine ganze Reihe von Jaspissen, Hornsteinen, Kieselschiefern und Kieselkalken aus fast allen Formationen überaus reich an Radiolarien ist. Wenn es auch nicht angeht, alle radiolarienreichen Bildungen als Ablagerungen der größten Tiefen anzusehen — enthalten doch einige, wie die tertiären Tripel der Insel Barbados, von Oran in Algerien, von Caltanisetta auf Sizilien, von der Insel Ägina in Griechenland, massenhaft Foraminiferen und selbst Muscheln — so kann doch anderseits nicht bezweifelt werden, daß viele andere die Eigenschaften einer echten Radiolarienerde der Tiefsee aufweisen. Wenn z. B. im alpinen Jura radiolarienreiche Hornsteine mit

Kalken in Verbindung stehen, die unverkennbare Berührungspunkte mit dem Globigerinenschlick zeigen (s. S. 414), so haben wir keinen Anlaß, daran zu zweifeln, daß auch diese kieseligen Gesteine in großer Meerestiefe gebildet worden seien.

Der Dolomit.

Für eine große Menge von sedimentären Gesteinen hat uns die Beobachtung der Vorgänge, wie sie sich heute im Meere, in Seen, an Quellen und Flüssen abspielen, den Schlüssel zum Verständnis ihrer Bildung geliefert; aber nicht überall ist die Erklärung so leicht, und vor allem hat der Dolomit, eine Felsart, die uns in innigster Verbindung mit anderen Produkten der Sedimentation entgegentritt und sicher in diese Gruppe selbst mit einzurechnen ist, bis jetzt allem Scharfsinn der Geologen und Chemiker getrotzt.

Lange Zeit hindurch hatte man dieses Gestein vom Kalk nicht unterschieden, bis der bekannte französische Mineralog Dolomieu, dem zu Ehren die Felsart später ihren Namen erhielt, im Jahre 1791 entdeckte, daß manche vermeintliche Kalksteine mit Säuren sehr schwach oder fast gar nicht aufbrausen, ein etwas höheres spezifisches Gewicht besitzen und etwas härter sind als z. B. Marmor. Einige Jahre später fand man auch, daß diese „Dolomite" eine wesentlich abweichende chemische Zusammensetzung zeigen, indem sie, statt aus kohlensaurem Kalk, aus einer Verbindung von kohlensaurem Kalk und kohlensaurer Magnesia bestehen, so zwar, daß die normalen Vorkommnisse ein Äquivalent von jeder der beiden Substanzen, also 54,35 Prozent kohlensauren Kalk und 45,65 Prozent kohlensaure Magnesia enthalten. Daneben aber finden sich Gesteine mit geringerem Magnesiagehalt, die durch dolomitischen Kalk hindurch alle möglichen Zwischenglieder bis zum gewöhnlichen Kalk darstellen.

Während der Dolomit anfangs vor allem vom mineralogischen Standpunkt aus als Merkwürdigkeit betrachtet wurde, machten sich nun bald Zweifel über die Art und Weise seiner Entstehung geltend; namentlich L. von Buch wies darauf hin, daß der Dolomit kein in normaler Weise gebildetes Sediment sei, sondern sich durch spätere Veränderung aus früher vorhandenem Kalk gebildet habe. Zu dieser Auffassung führten Umstände mehrfacher Art. In erster Linie fiel es auf, daß der Dolomit sehr häufig äußerst undeutlich oder gar nicht geschichtet ist, daß zahlreiche Klüfte sein Gefüge durchdringen, daß er weit mehr kristallinische Struktur zeigt als die Kalke, mit denen er in Verbindung steht, und daß Versteinerungen von Tierresten darin entweder ganz fehlen, oder sehr selten und schlecht erhalten sind.

L. von Buch versuchte die angenommene Umbildung durch gewaltige vulkanische Vorgänge zu erklären. Den Ausgangspunkt für seine Auffassung bildeten die ihres geologischen Interesses wie ihrer wunderbaren landschaftlichen Schönheit wegen berühmten Dolomitgebirge des südöstlichen Tirol. Dort treten sehr häufig, unter dem Dolomit lagernd, große Massen eines Eruptivgesteines, des Augitporphyrs, auf, und L. von Buch nahm nun an, daß gleichzeitig mit dem Ausbruch dieser geschmolzenen Massen aus der Tiefe auch ungeheure Mengen von Magnesiadämpfen emporgedrungen seien, die den ursprünglich vorhandenen Kalk in Dolomit umwandelten. An Punkten, wo kein Eruptivgestein in der Nähe des Dolomits zu beobachten ist, wie z. B. im Fränkischen Jura, sollte in der Tiefe solches vorhanden sein und durch seine Bewegungen den Magnesiadämpfen zum Durchbruch verholfen haben. Diese Ansicht, so hohen Ansehens sie sich auch eine Zeitlang zu erfreuen hatte, ist jetzt längst überwunden, weil es sehr unwahrscheinlich ist, daß Eruptivmassen unter jedem der zahllosen Dolomitvorkommnisse vorhanden seien, und weil eine Umwandlung des Kalkes in Dolomit durch Magnesiadämpfe vom chemischen Standpunkt aus auf unüberwindliche Schwierigkeiten stößt.

Man suchte nun eine Umänderung auf anderem Wege und zwar durch die Einwirkung von in Wasser gelösten Magnesiasalzen auf Kalkstein. Es wurde angenommen, daß die schwefelsaure Magnesia bei Berührung mit Kalkstein an diesen ihre Bittererde abgebe und so Dolomit bilde, während sich die Schwefelsäure mit einer entsprechenden Menge Kalk zu Gips verbinde. Allein das chemische Experiment hat gezeigt, daß eine solche Umsetzung unter normalen Verhältnissen ebenfalls nicht möglich ist, wohl aber bei hohem Druck und einer Temperatur von mehr als 100 Grad.

Hatten für die Dolomite in Südtirol nach der Hypothese L. von Buchs die Eruptionen von Augitporphyr die Magnesia liefern müssen, so sollten sie jetzt die erforderliche Erhitzung des Meerwassers veranlassen. Bedenkt man jedoch, daß die Tuffe, die zu den Eruptivgesteinen gehören, massenhafte Versteinerungen enthalten, daß also das Wasser nicht heiß genug war, ein reiches Tierleben zu verhindern, daß ferner die Dolomite, die durch die Hitze der Ausbrüche verändert worden sein sollen, eine Dicke von 1000 m erreichen und sich vom Etschthal bis Friaul erstrecken, daß endlich die meisten davon erst nach der Hauptmasse jener Eruptionen abgelagert wurden, so wird man einer solchen Auffassung um so weniger beipflichten können, als für die zahllosen Dolomitvorkommnisse, in deren Nähe keine Eruptivgesteine vorhanden sind, diese Erklärung an sich schon wegfällt. Trotzdem lag und liegt noch immer die Vermutung nahe, daß gerade die schwefelsaure Bittererde die Dolomitisierung des Kalksteins bewirkt habe, weil sie im Meerwasser in beträchtlicher Menge vorhanden ist und daher das Material für die Veränderung überall geboten hätte.

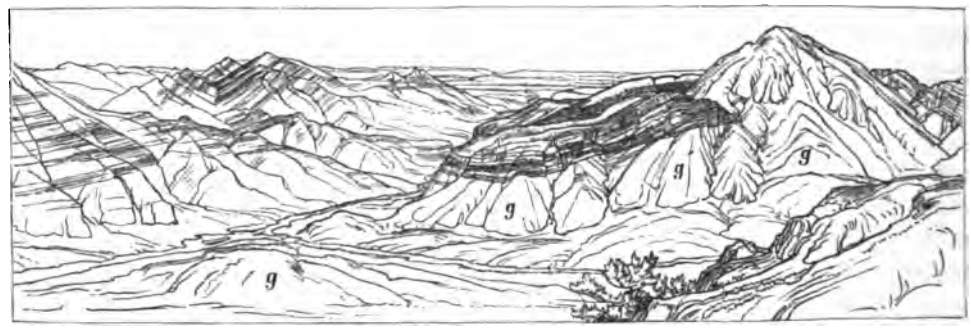
Ein anderer Erklärungsversuch schreibt die Umwandlung von Kalkstein in Dolomit der Einwirkung magnesiahaltiger Quellen zu. Diese sollten aus dem Kalkstein Kalk auslaugen und Magnesia dafür zurücklassen, oder es sollte kohlensäurehaltiges Wasser aus einem magnesiahaltigen Kalk so viel kohlensauren Kalk ausgelaugt haben, daß Dolomit zurückblieb. Obwohl nun solche Vorgänge thatsächlich stattfinden und manche kleine Dolomitpartien an der Oberfläche oder entlang einer wasserführenden Kluft in dieser Weise entstanden sind (s. S. 447), kann man doch die Bildung der großen und weitausgedehnten Dolomitmassen nicht so erklären. Namentlich da, wo Dolomit mit einer Schichtfläche gegen Kalkstein scharf abgeschieden ist, oder gar da, wo diese Gesteine bankweise wechsellagern, ist die Annahme einer späteren Metamorphose gänzlich ausgeschlossen. Die schichtweise Abgrenzung von Kalk und Dolomit kann nur auf Verhältnissen beruhen, die während oder unmittelbar nach dem Absatz der einzelnen Schichten eingetreten sind. Daß eine sofortige Dolomitisierung neuerdings gebildeter Kalkabsätze überhaupt in den Bereich der Möglichkeit und Wirklichkeit gehört, wird durch die Untersuchungen von J. Dana bewiesen, der gezeigt hat, daß der rezente Riffstein der Koralleninsel Mathea aus Dolomit besteht. Seither wurden andere derartige Beobachtungen an Korallenriffen gemacht, und es hat sich gezeigt, daß auch die älteren Dolomitgesteine der Erdkruste die Merkmale koralligener Entstehung erkennen lassen, wie z. B. die schon genannten massigen Dolomitriffe von Südtirol. Wir wissen zwar, daß die Kalkschalen einer Reihe von Meerestieren kohlensaure Bittererde enthalten, aber doch nicht so viel, daß man die Entstehung von Dolomit einfach durch die Anhäufung solcher Schalen erklären könnte. Unter diesen Umständen bleibt nur die schon oben erwähnte Annahme übrig, daß die Magnesiasalze des Meerwassers, die schwefelsaure Magnesia und Chlormagnesium, das Material zur Dolomitisierung geliefert haben. Den Vorgang selbst müssen wir uns jetzt freilich anders vorstellen als ehedem. Wie J. Walther gezeigt hat, ist es am wahrscheinlichsten, daß hier, ähnlich wie bei der Glaukonitbildung und beim Absatz von Kalk- und Kieselsinter, verwesende organische Substanzen mitwirken, und zwar dürfte es ein durch Bakterien veranlaßter spezifischer Fäulnisprozeß sein, der die Bittererde aus dem Meerwasser zur Abscheidung bringt.

8. Massengesteine.

Inhalt: Zusammensetzung der Massengesteine. — Chemische und mikroskopische Untersuchung der Massengesteine. — Entstehung der Massengesteine. — Strukturformen der Massengesteine. — Die wichtigsten Gesteinstypen.

Zusammensetzung der Massengesteine.

Die Sedimentgesteine tragen den Stempel ihrer Entstehung, des Absatzes aus dem Wasser, in unverkennbarer Weise in dem Auftreten der Schichtung an sich. Im Gegensatz dazu finden wir eine zweite große Kategorie von Gesteinen, bei denen diese Fundamentalerscheinung fehlt. Sie haben durch ihre ganze Ausdehnung eine gleichartige Struktur, häufig eine unregelmäßige Zerklüftung, oder zeigen eine regelmäßige Abscheidung in gröbere Formelemente, die einem späteren, innerhalb der Masse vor sich gehenden Prozeß ihre Entstehung verdankt. Diese Gebirgs-



Granit und geschichtete Gesteine; g. Granit. (Nach Hayden.)

glieder, als deren typische und allgemein bekannte Vertreter die Granite, Porphyre, Syenite, Basalte, Trachyte, Serpentine neben vielen anderen gelten können, bezeichnen wir als massige Gesteine oder Massengesteine (s. obenstehende Abbildung).

War bei den Schichtgebilden eine sehr bedeutende Mannigfaltigkeit der chemischen Zusammensetzung vorhanden, finden wir in Kalksteinen und Dolomiten, in Steinsalz und Gips, in der Steinkohle und Braunkohle, in Thonen und Thonschiefern, in Sandsteinen und Quarziten stofflich weit voneinander abweichende Typen, so herrscht bei den massigen Felsarten in dieser Hinsicht große Einförmigkeit. Sie gehören alle zu den Silikaten, d. h. sie bestehen aus Kieselsäure in Verbindung mit einigen anderen Stoffen, unter denen Thonerde, Eisenoxyd, Eisenoxydul, Magnesia, Kalk, Kali und Natron die Hauptrolle spielen, während andere nur untergeordnet sind. Größer sind die Verschiedenheiten in den Mengungsverhältnissen der einzelnen Substanzen; vorherrschend ist die Kieselsäure, deren Menge zwischen 40 und 80 Prozent der Gesamtmasse zu schwanken pflegt, während diese Grenze nach oben oder nach unten nur ausnahmsweise überschritten wird. Je nachdem nun die Kieselsäure in größerer oder geringerer Menge vorhanden ist, unterscheidet man kieselsäurereiche und kieselsäurearme oder saure und basische Gesteine. Auch die Mengeverhältnisse der übrigen Bestandteile sind schwankend, manche davon fehlen oft ganz, während die anderen um so stärker hervortreten; so besteht z. B. der Serpentin fast nur aus Kieselsäure, Magnesia, Eisenoxydul und Wasser.

Trotz dieſer Schwankungen iſt der ſtoffliche Beſtand der Maſſengeſteine ſehr einförmig. Um ſo wunderbarer iſt dagegen die wechſelnde Mannigfaltigkeit, mit der ſich die einzelnen Teile zu Mineralen gruppieren. Dadurch werden gerade dieſe Felsarten zum hervorragendſten und wichtigſten Gegenſtand der Geſteinslehre oder Petrographie, die namentlich in neuerer Zeit, ſeitdem die Benutzung des Mikroſkops auf das Studium der Geſteine in Anwendung gekommen iſt, einen rieſigen Aufſchwung genommen hat und für die geſamte geologiſche Auffaſſung von größter Bedeutung geworden iſt. Der Geolog kann, wenn er ſein Feld nicht einſeitig bebauen will, die Geſteinslehre ebenſowenig entbehren wie die Kenntnis der foſſilen Pflanzen und Tiere, die Paläontologie; aber der eine Wiſſenszweig bildet ſo wenig wie der andere einen Teil der Geologie: ſie ſind unentbehrliche Hilfsdisziplinen dieſer Wiſſenſchaft, aber zugleich eigengeartete und eigenberechtigte Forſchungsgebiete, die nur in ſelbſtändiger Entwickelung ihre Aufgabe voll erreichen können.

Die Geſteinslehre iſt in allen ihren Methoden nichts anderes als angewandte Mineralogie, und ſie beruht, wie die Mineralogie, auf den Grundſätzen der Chemie und Phyſik. Vertrautheit mit der Mineralogie, namentlich mit allen chemiſchen und phyſikaliſchen Eigenſchaften der häufigſten „geſteinsbildenden“ Minerale, iſt deshalb zum Verſtändnis der Geſteinslehre abſolut notwendig. Dieſer Umſtand erſchwert uns aber das Eingehen auf dieſen Gegenſtand um ſo mehr, als gerade hier eine Nachhilfe durch Abbildungen nur bei einzelnen Punkten möglich iſt, während die charakteriſtiſchen Merkmale der Geſteine und Minerale in der Zeichnung nicht wiederzugeben ſind. Dieſen Schwierigkeiten einer geeigneten Darſtellung gegenüber wird es gerechtfertigt erſcheinen, wenn wir nur einige unerläßliche oder dem Verſtändnis verhältnismäßig leicht zugängliche Punkte aus der beſchreibenden Geſteinslehre hervorheben.

Nur ſehr wenige Maſſengeſteine beſtehen, wie etwa der Serpentin, ihrer ganzen Maſſe nach bloß aus einem einzigen Mineral; die übergroße Mehrzahl iſt aus einem Gemenge mehrerer verſchiedenartiger Minerale zuſammengeſetzt, z. B. der Granit aus Feldſpat, Quarz und Glimmer, die daher als die weſentlichen Gemengteile des Granits bezeichnet werden; außer dieſen finden ſich oft noch andere Minerale ziemlich regelmäßig, aber doch im Verhältnis zu jenen in verſchwindend kleiner Maſſe eingeſtreut, „acceſſoriſche“ Gemengteile, die aber unter Umſtänden ſehr charakteriſtiſch ſind; ſo finden ſich im Granit oft Apatit, Turmalin, Epidot, Granat ꝛc. Die erſte Aufgabe bleibt jedenfalls die Erkennung der Minerale, die weſentlich an der Zuſammenſetzung der Geſteine teilnehmen. Bei der geringen Größe und undeutlichen Ausbildung, die dieſe Minerale häufig beſitzen, iſt dies eine oft ſehr ſchwierige Aufgabe, doch iſt die Zahl der Minerale, die in dieſer Beziehung wichtig ſind, nicht groß; nur ganz wenige ſind ſehr verbreitet.

In erſter Linie iſt unter dieſen der Quarz zu nennen, reine Kieſelſäure, die in der Form von ſechsſeitigen Säulen oder Pyramiden ausgebildet iſt. Deutliche Kriſtalle kommen in einer für das freie Auge wahrnehmbaren Größe in den Maſſengeſteinen ſelten vor, meiſt tritt er hier in gerundeten, halbdurchſichtigen oder durchſcheinenden Körnern von gewöhnlich grauer Farbe auf, die muſchelig brechen und Glasglanz oder Fettglanz zeigen. Außerdem unterſcheidet er ſich von den anderen geſteinsbildenden Mineralen durch ſeine Härte; keines unter dieſen iſt im ſtande, Quarz zu ritzen, während ein ſcharfer Quarzſplitter die verſchiedenen Feldſpate, Augit, Hornblende, zu ritzen vermag. Auch iſt der Quarz härter als der Stahl, und weder eine Feile noch die Meſſerſpitze, dieſes ebenſo primitive wie nützliche petrographiſche Inſtrument, greifen ihn an.

Eine zweite ſehr wichtige Gruppe von Mineralen bilden die Feldſpate, unter ihnen in erſter Linie der Kalifeldſpat oder Orthoklas, der weſentlich aus Kieſelſäure, Thonerde und Kali beſteht. Seiner Kriſtallgeſtalt nach gehört der Orthoklas dem ſogenannten monoklinen Syſtem an und iſt dadurch charakteriſiert, daß er ausgezeichnete Spaltbarkeit nach zwei aufeinander

senkrecht stehenden Richtungen besitzt, so daß man bei jeder Spaltung die glänzenden Spaltungsflächen zu sehen bekommt; die Farbe ist weiß, lichtgrau, rötlich, rot oder auch grün, mit Glasglanz. Von dem häufig mit ihm vergesellschafteten Quarze ist der Orthoklas leicht durch seine spiegelnden, ebenen Spaltungsflächen zu unterscheiden. Als eine besondere Abart des Orthoklas verdient der namentlich in den Trachytgesteinen vorkommende Sanidin hervorgehoben zu werden, der sich durch auffallenden Glasglanz und durch rissige Beschaffenheit seiner Kristalltafeln auszeichnet. Wer je das Gestein vom Drachenfels bei Bonn betrachtet hat, aus dem manche ältere Teile des Kölner Domes gebaut sind, dem sind auch gewiß die großen, tafelförmigen Kristalle des Sanidin aufgefallen, die in diesem Gestein vorkommen.

Eine zweite Gruppe von Feldspaten, die ebenfalls von großer Bedeutung ist, bezeichnet man als Plagioklase, eine Reihe nahe miteinander verwandter, in ihrer chemischen Zusammensetzung aber weit voneinander abweichender Minerale. In ihrer Kristallgestalt stehen sie zwar dem Orthoklas nahe, gehören aber einem anderen, dem triklinen System an. Sie sind ebenfalls durch deutliche Spaltbarkeit ausgezeichnet, und da auch Farbe und Glanz kein entscheidendes Merkmal dem Orthoklas gegenüber bilden, so läßt nur die aufmerksamere Betrachtung beide mit Sicherheit trennen; die Plagioklaskristalle bestehen nämlich fast immer aus zahlreichen miteinander verwachsenen Lamellen, die sich auf den Hauptspaltungsflächen durch eine feine, namentlich unter der Lupe in der Regel deutliche Streifung kenntlich machen.

Zwei weitere Mineralgattungen, die selbst wieder in eine Reihe von Abänderungen zerfallen, sind der Augit (Pyroxen) und die Hornblende; beide bestehen der Hauptsache nach aus Kieselsäure mit Kalk, Magnesia oder Eisenoxydul. Der wesentliche Unterschied zwischen Augit und Hornblende liegt in ihrer kristallographischen Ausbildung, die zwar einem und demselben, nämlich dem monoklinen System angehört, aber verschiedene Kristallwinkel zeigt; Augit ist meist unvollkommen, Hornblende sehr vollkommen spaltbar. Beide Minerale erscheinen in den Gesteinen fast immer schwarz, bisweilen mit einem Stich ins Grüne. Sie sind leicht zu unterscheiden, wo der Spaltungswinkel sichtbar ist, der sich beim Augit nicht weit von einem rechten entfernt, während er bei der Hornblende ungefähr 124°, bezw. 56° beträgt; wenn es sich dagegen um kleine Partien handelt, bei denen dieses Kennzeichen nicht vorhanden ist, kann man doch sehen, daß die Spaltungsflächen der Hornblende bedeutend glänzender sind als die des Augits, und daß fast nur die erstere sehr lang-nadelförmige Partien enthält.

Zum Schluß mag noch der Glimmer genannt werden. Wohl jedermann ist mit der Beschaffenheit dieser in feinste durchsichtige Blätter spaltbaren Körper bekannt; vom wissenschaftlichen Standpunkt aus bilden aber die Glimmer eine überaus komplizierte Erscheinungsgruppe; für uns genügt die Unterscheidung zwischen weißem und dunklem Glimmer, von denen der erstere auch Kaliglimmer oder Muskowit, der letztere Magnesiaglimmer oder Biotit heißt.

Quarz, Orthoklas, Plagioklas, Augit, Hornblende, weißer und dunkler Glimmer, diese sieben Minerale spielen in der Zusammensetzung der Massengesteine die größte Rolle. Neben ihnen sind allerdings noch andere, wie Leucit, Nephelin, Granat, Turmalin, Diallag, Epidot, Olivin, Magneteisen, von Wichtigkeit, können sich aber doch mit den genannten Arten an Bedeutung nicht messen. Wer die genannten sieben Minerale unter nicht allzu schwierigen Verhältnissen zu erkennen vermag, kann wenigstens die gewöhnlichsten grobkörnigen Gesteine bestimmen, und besitzt so viel Vorkenntnisse, wie deren etwa ein Reisender in einer fernen, selten besuchten Gegend bedarf, um, ohne Geolog von Fach zu sein, doch brauchbare Beobachtungen anstellen zu können. Diesen Grad der Fertigkeit kann sich mit Hilfe einer kleinen Gesteinssammlung jeder leicht beschaffen, der nur über einige Beobachtungsgabe verfügt. Sehr häufig treten aber die Mineralgemengteile der Massengesteine in so kleinen Partien auf, so feinkörnig, daß eine

genaue Untersuchung mit freiem Auge oder mit der Lupe die Merkmale nicht mehr deutlich zeigt, oder daß die einzelnen Bestandteile gar nicht mehr zu unterscheiden sind und das ganze Gestein aus einer homogenen Masse zu bestehen scheint. In solchen Fällen sind allerdings kompliziertere Methoden schon von vornherein notwendig, die ja auch bei der Untersuchung der grobkörnigen Abänderungen unerläßlich sind, sobald es sich um ein Studium der Felsarten handelt.

Chemische und mikroskopische Untersuchung der Massengesteine.

Zur wirklichen Kenntnis eines Gesteins ist die vollständige chemische und physikalische Prüfung nötig. Die chemische Kenntnis eines Gesteins in seiner Gesamtheit festzustellen, ist verhältnismäßig eine der einfachsten Aufgaben; es genügt dazu, ein frisches, unverwittertes Stück zu pulvern und das Pulver nach den gewöhnlichen Regeln der Chemie einer Analyse zu unterziehen. Weit verwickelter wird die Sache, wenn es sich darum handelt, die Zusammensetzung der einzelnen mineralischen Gemengteile zu erhalten. Wo, wie in gewissen Graniten ꝛc., die Minerale in oft mehr als zentimetergroßen Partien auftreten, ist es allerdings leicht, reines Material zu gewinnen, doch ist es noch erforderlich, mikroskopische Proben daraufhin zu machen, ob keine fremden Beimengungen vorhanden sind; bei feinkörnigeren Vorkommnissen gelingt aber die Aufgabe selbst mit den raffiniertesten Methoden nicht immer. Wenn es glückt, sowohl die Gesamtzusammensetzung des Gesteins als auch alle einzelnen Minerale festzustellen, so kann man auch berechnen, in welchem Verhältnis sie an dem Aufbau der Felsart teilnehmen.

Von nicht geringerer Bedeutung als die chemische ist die Untersuchung unter dem Mikroskop. Für diese ist es zunächst notwendig, sich durchsichtige Dünnschliffe anzufertigen: man schlägt von dem zu studierenden Gestein ein möglichst plattes Stückchen ab, schleift es auf einer gußeisernen, mit grobem Schmirgel bestreuten Platte, bis es auf einer Seite eben ist, glättet die nun noch ziemlich rauhe Oberfläche auf einer matten Glastafel mit feinem Schmirgel und poliert sie endlich durch Reiben auf glattem Papier. Nun wird das Stück mit seiner geschliffenen Fläche mit Kanadabalsam an ein gewöhnliches Objektglas angekittet; man erwärmt zu diesem Zweck das Glas, streicht etwas Kanadabalsam darauf, erhitzt diesen über einer Gas- oder Weingeistflamme und legt den ebenfalls vorher erwärmten Stein auf, der beim Erkalten des Balsams angekittet bleibt. Bei dieser Prozedur ist einige Vorsicht nötig. In erster Linie ist dafür zu sorgen, daß der Balsam beim Erstarren die richtige Konsistenz erhalte, indem man ihn weder zu stark noch zu schwach erhitzt; er soll nach dem Erkalten vom Fingernagel keinen Eindruck annehmen und sich mit dem Messer abschaben lassen, ohne zu springen. Ist er noch weich infolge zu schwacher, oder spröde infolge zu starker Erhitzung, so geht das Präparat bei der weiteren Behandlung zu Grunde, die Gesteinslamelle zerreißt beim weiteren Schleifen. Ferner müssen Luftblasen zwischen dem Gesteinsstück und dem Balsam vermieden oder entfernt werden; haben sich solche gebildet, so muß man sie durch vorsichtiges Erwärmen und durch Hin- und Herschieben und Drehen des Präparats auszutreiben suchen. Nach der Vollendung des Aufklebens wird auch die zweite, noch unbearbeitete Seite des Stückes in der angegebenen Weise abgeschliffen, wobei man die Ränder des Objektglases mit den Fingern faßt und die Schleifbewegung auf der Eisenplatte vornimmt. Die Operation muß so lange fortgesetzt werden, bis die erforderliche Dünne erreicht ist, was in der Regel der Fall ist, wenn man gewöhnliche Druckschrift durch die Gesteinslamelle hindurch lesen kann. Nähert man sich diesem Punkte, so muß die Operation oft unterbrochen, das Präparat abgewaschen und mit der Lupe untersucht werden; schleift man zu lange, so wird alles weggerissen, und man entdeckt plötzlich zu seiner unangenehmen Überraschung, daß das Gestein verschwunden ist und man das leere Objektglas in der Hand hält. Bei sehr dunkeln

Gesteinen kann oft der gewünschte Grad der Durchsichtigkeit nicht erreicht werden; wann hier mit dem Reiben aufgehört werden soll, kann nur die Erfahrung lehren, und niemand wird zu einer gewissen Fertigkeit gelangen, ohne Lehrgeld gezahlt und einige Male den Ärger erlebt zu haben, nach stundenlanger Arbeit ein Präparat unter den Händen verschwinden zu sehen.

Wenn der Schliff die nötige Durchsichtigkeit erreicht hat, löst man ihn von dem beim Schleifen stark zerkratzten Glase ab und befestigt ihn auf ein neues Objektglas, nachdem man ihn mit Wasser und einem Pinsel vom anhängenden Schmirgelschlamm ꝛc. gereinigt hat. Endlich wird über dem Schliff ein sogenanntes Deckgläschen mit Kanadabalsam aufgeklebt, der außerhalb befindliche Balsam abgeschabt und eine Etikette mit der Angabe des Gesteins und seines Fundortes aufgeklebt.

Durch die mikroskopische Beobachtung des so gewonnenen Dünnschliffes in durchfallendem Licht wird nicht nur ermöglicht, die scheinbar homogenen „aphanitischen" Gesteine in ein körniges Mineralgemenge zu zerlegen, die einzelnen Bestandteile zu bestimmen und diese Vorkommnisse von wirklich ganz oder teilweise gleichmäßigen Gebilden zu unterscheiden, sondern auch die grobkörnigeren Felsarten weit zuverlässiger zu deuten, und überdies enthüllt die Vergrößerung eine Menge von Struktureigentümlichkeiten, die für das Verständnis des Wesens und der Entstehung der Gesteine von fundamentaler Wichtigkeit sind. Mit der Einführung des Mikroskops in die Petrographie hat diese eine vollständige Umgestaltung und einen riesigen, ungeahnten Aufschwung erfahren. Kurz vor diesem Zeitpunkt war eine Periode eingetreten, in der sich das mineralogische Studium der Gesteine fast erschöpft hatte; es war eine Stagnation eingetreten, während deren nur noch die chemische Methode thätig betrieben wurde. Das Verdienst, zuerst Dünnschliffe von Gesteinen in rationeller Weise untersucht, die Bedeutung dieser Methode erfaßt und eine Reihe wichtiger Beobachtungen auf diesem Wege gemacht zu haben, gebührt dem englischen Forscher Sorby, der den ersten Aufsatz über diesen Gegenstand im Jahre 1851 veröffentlichte; trotzdem blieb die Sache wenig beachtet, bis F. Zirkel seine Arbeiten auf diesem Gebiet begann und nicht nur eine erhebliche Erweiterung und Vertiefung der Methode und der Resultate herbeiführte, sondern auch allgemein der Überzeugung Geltung verschaffte, daß ein Studium der Gesteine ohne die Anwendung des Mikroskops nicht mehr möglich sei.

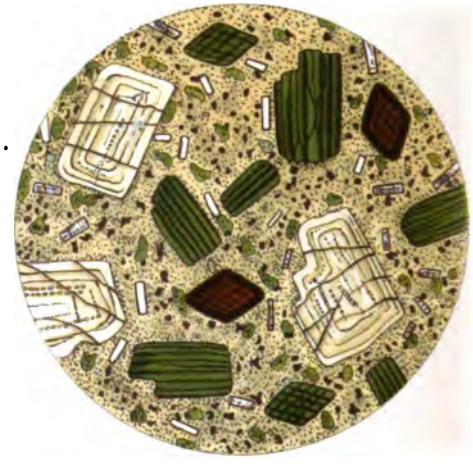
In gewisser Hinsicht leistet allerdings der Dünnschliff weniger als ein gewöhnliches Gesteinsstück, er zeigt nur den Durchschnitt der einzelnen Mineralteile, nicht ihre plastische Gestalt; einen sehr reichlichen Ersatz dafür bietet aber nicht nur die Vergrößerung des Bildes, sondern noch mehr die Möglichkeit der Anwendung polarisierten Lichtes, die bei der mikroskopischen Untersuchung der Gesteine eine sehr große Rolle spielt. Wir können hier nicht auf das Wesen der Polarisation des Lichtes eingehen, deren Erklärung zu den schwierigeren Kapiteln der Optik gehört und eine streng mathematische Behandlung voraussetzt. Das Licht ist eine Schwingung des Äthers, und bei gewöhnlichem Licht schwingen die einzelnen Ätherteilchen nach allen möglichen Richtungen; „polarisiert" wird das Licht genannt, bei dem die Schwingungen der Ätherteilchen alle nach bestimmter Richtung orientiert sind. Es gibt verschiedene Methoden, das Licht zu polarisieren; für unsere Zwecke verwendet man Kalkspatkristalle. Fällt ein Lichtstrahl auf ein Kalkspatrhomboeder, so wird er gebrochen, und es treten auf der entgegengesetzten Seite zwei Strahlen aus, die beide in der Weise polarisiert sind, daß die Schwingungsebene der Ätherteilchen des einen Strahles senkrecht zu der des anderen steht. Für den Gebrauch am Mikroskop wird der Kalkspat zu einem Prisma geschliffen, durch das nur der eine der beiden Strahlen das Auge des Beobachters trifft, während der andere abgeleitet wird, so daß man nur nach einer Richtung polarisiertes Licht empfängt. Die Einrichtung ist so getroffen, daß, wie an jedem Mikroskop bei der Arbeit mit durchfallendem Licht, unter dem Rohr ein Spiegel angebracht ist, durch den das erforderliche Licht in das Rohr des Mikroskops geleitet wird; zwischen den Spiegel und das untere Ende des Mikroskops

1.

2.

3.

4.



5.

6.

Mikroskopische Vergröserung von Dünnschliffen.

1) **Granit** aus dem französischen Departement Nièvre. Etwa 60fache Vergrößerung, in polarisiertem Licht bei gekreuzten Nicols. Der Quarz, in zwei größeren Partien (die eine oben, die andre rechts), erscheint lichtgelblich; Orthoklas (oben, nahe der Mitte und unten) ist durch graublaue Färbung und Scheidung in breite Bänder, entsprechend der Zwillingsbildung, ausgezeichnet, während bei dem intensiv blauen Plagioklas (rechts oben und links unten) die zahlreichen parallelen Streifen klar hervortreten. Der mehrfach auftretende schwarze Glimmer hat feine grüne, rote, gelbe und blaue Streifung. Außerdem sind noch accessorische Minerale bemerkbar, unter denen Epidot durch seine intensiv grüne Färbung hervortritt. (Nach Fouqué und Michel Levy.)

2) **Quarzporphyr** von Wurzen in Sachsen, in gewöhnlichem Licht, bei etwa 150facher Vergrößerung. Besonders beachtenswert ist die Grundmasse, in der die Kristalle von Quarz, Feldspat und Glimmer (grün) liegen. Sie war ursprünglich glasig, ist aber durch allmähliche Umänderung „entglast", d. h. in zarte Kristallelemente aufgelöst. Man sieht in der Grundmasse deutlich die Fluidalstruktur, d. h. die Strömungsrichtungen, in denen sich während des Erstarrens die Teilchen bewegten. (Nach Vogelsang.)

3) **Obsidian** aus Nevada, glasig, mit ausgezeichneter Fluidalstruktur. (Nach Zirkel.)

4) **Propylit**, eine Trachytvarietät aus Nevada, in gewöhnlichem Licht. In der Grundmasse weißer Plagioklas und grüne und braune Hornblende. (Nach Zirkel.)

5) **Hornblende-Andesit** aus Frankreich (Cantal). In polarisiertem Licht, bei etwa 60facher Vergrößerung. In einer aus winzig kleinen Feldspatkriställchen, Oligoklas-Mikrolithen, bestehenden Grundmasse liegen große, gestreifte Kristalle von Plagioklas und kleine, lebhaft gefärbte Kristalle von Augit und Hornblende. (Nach Fouqué und Michel Levy.)

6) **Basalt** aus Nevada, in gewöhnlichem Licht. In einer aus feinen Körnern von Augit und Magneteisen gebildeten Grundmasse liegen größere Kristalle von Olivin (gelb) und kleinere, farblose Kristalle von Plagioklas. (Nach Zirkel.)

wird ein Kalkspatprisma („Nicolsches Prisma" oder kurzweg „Nicol" genannt) eingeschaltet. Ein zweiter Nicol befindet sich am oberen Ende des Rohres, so daß also das Licht durch zwei polarisierende Prismen hindurchgeht, ehe es das Auge trifft.

Es gehört zu den merkwürdigen Eigentümlichkeiten des polarisierten Lichtes, die wir hier nicht erklären, sondern nur einfach als Thatsachen hinnehmen können, daß der obere Nicol unter bestimmten Verhältnissen das Licht, das durch den unteren gegangen ist, vollständig hindurchläßt, unter anderen Bedingungen dagegen vollständig absorbiert, so daß das Gesichtsfeld ganz dunkel erscheint. Das erstere findet statt, wenn die beiden Prismen mit ihren optischen Achsen parallel gestellt sind, das letztere, wenn sie einen rechten Winkel miteinander bilden. Der obere Nicol ist daher so eingerichtet, daß er einfach mit der Hand um seine Achse gedreht werden kann, und wenn man ihn nun eine ganze Umdrehung machen läßt, so steht dabei natürlich seine optische Achse zweimal der des unteren Nicols parallel und kreuzt sie zweimal; sieht man also, während man den Nicol einmal umdreht, durch das Mikroskop, so erscheint das Gesichtsfeld zweimal ganz hell und zweimal ganz dunkel. An diesem Verhältnis wird nichts geändert, wenn man zwischen die beiden Nicols eine durchsichtige Platte aus einem nicht kristallisierten, einem „amorphen" Material, z. B. aus Glas, einschiebt oder einen Körper, der in dem sogenannten regulären oder tesseralen System kristallisiert, wie Kochsalz, Alaun, Flußspat, Granat ꝛc. Anders verhält es sich aber, wenn man eine Lamelle einer Substanz einschiebt, die in einem der fünf anderen Kristallsysteme ausgebildet ist. Hexagonale oder tetragonale Mineralien haben nur eine einzige, rhombische, monokline und trikline nur zwei Richtungen, in der sie keine Modifikation hervorbringen; in allen anderen Richtungen dagegen verändern sie das Verhalten des polarisierten Lichtes in mehr oder weniger bedeutender Weise. Alle diese Körper sind doppelbrechend, und ein Durchschnitt eines solchen Kristalls bewirkt eine Umpolarisierung des Lichtes, so daß er mit leuchtender Farbe, rot, blau, gelb ꝛc., erscheint und zwar auf dunklem Grund bei gekreuzten, auf hellem bei parallel gestellten Nicols. Bei einer Drehung des oberen Nicols verändert sich dabei jede Farbe in ihre Komplementärfarbe: erscheint der Kristall bei parallelen Nicols rot, so wird er bei gekreuzter Stellung grün; war er blau, so erscheint er dann gelb und umgekehrt.

Wird nun der zu untersuchende Gesteinsdünnschliff unter das Mikroskop gebracht, so können, da sich die Glasbestandteile des Mikroskops ganz passiv verhalten, nur die einzelnen Mineralkörner des Schliffes modifizierend auf das polarisierte Licht wirken. Hierdurch erhalten wir zunächst ein Mittel, amorphe und reguläre Substanzen von den übrigen zu unterscheiden; überdies aber treten durch die intensive Färbung das ganze Bild und die Grenzen der einzelnen Teile sehr viel deutlicher hervor, und fast jedes Mineral zeigt, unter diesen Verhältnissen betrachtet, so viele Eigentümlichkeiten, daß man mit sehr wenigen Ausnahmen alle in den Gesteinen häufig auftretenden Mineralien auf diesem Wege leicht unterscheiden kann. (S. die beigeheftete Tafel „Mikroskopische Vergrößerung von Dünnschliffen".) Der Quarz erscheint, ohne Polarisation betrachtet, unter dem Mikroskop farblos, bei Anwendung des Nicols zeichnet er sich durch Glanz und lebhafte Farbe aus. Der Orthoklas, dessen Kristalle fast immer sogenannte Zwillinge sind, d. h. aus zwei verwachsenen Kristallindividuen bestehen, zeigt bei Anwendung der Vergrößerung die Trennungslinie zwischen den beiden Hälften, und diese sind im polarisierten Licht auffallend verschieden gefärbt. An den Plagioklasen, die schon bei der Betrachtung mit freiem Auge die Zwillingsstreifen erkennen lassen, treten die einzelnen miteinander verwachsenen Lamellen nun sehr deutlich und zwar zwischen den Kalkspatprismen als bunte Streifen hervor. Hornblende und Augit sind auch im polarisierten Lichte nicht leicht zu unterscheiden; sie sind beide unter dem Mikroskop grünlich oder bräunlich. Am besten sind sie nach den Untersuchungen von Tschermak in der Weise zu trennen, daß man den oberen Nicol entfernt und den unteren Nicol dreht; bei dieser

Drehung wird Hornblende in merklicher Weise abwechselnd heller und dunkler, während Augit fast unverändert bleibt.

Es erfordert natürlich sehr genaue Kenntnis, sehr viel Sorgfalt und Übung, um alle Mineralien auf diese Weise unterscheiden zu können. Überdies ist es von geringem Wert, sich rein mechanisch die Merkmale der Mineralien einzuprägen; ein Kenner der Gesteine muß die Erscheinungen verstehen, die Ursachen jeder einzelnen, ihre Begründung in der Natur des Kristalles und in den Gesetzen der Optik erfaßt haben und sich von jeder neuen Beobachtung sofort Rechenschaft geben können. Nur dann ist er im stande, die Methoden zu erweitern oder neue zu finden, und steht den häufig vorkommenden Unregelmäßigkeiten und Abweichungen nicht ratlos gegenüber.

Statt den Einzelheiten in der Unterscheidung der Mineralien nachzugehen, wenden wir uns nun den Eigentümlichkeiten in der Struktur der Gesteine zu. Es wurde schon erwähnt, daß zwar ein großer Teil der dem freien Auge als dicht erscheinenden Gesteine unter dem Mikroskop ganz aus individualisierten Kristallkörnern oder -Leisten besteht, daß aber bei sehr vielen auch dies nicht der Fall ist, sondern neben kristallinischen Mineralkörnern ein Teil der Grundmasse in Form von amorphem Glas ausgebildet ist. Bisweilen besteht der größte Teil des Gesteins aus Glas, in dem nur einzelne kristallinische Partien gleichsam schwimmend eingestreut sind, bald ist die Glasbasis in geringerer Menge vorhanden oder nur in kleinen Partien zwischen den dominierenden körnigen Mineralen gelagert. Bei normaler Ausbildung ist sie durchsichtig, mehr oder weniger gelblich-bräunlich, bisweilen auch farblos und bei gekreuzten Nicols ganz schwarz; ein vorwiegend aus Glasmasse mit einzelnen eingestreuten Kristallpartien bestehendes Gestein bietet, in dieser Weise unter dem Mikroskop betrachtet, einen wunderbaren Anblick: das Glas ist tiefschwarz, und von dem dunkeln Grunde heben sich die Kristalle in prachtvoll leuchtenden Farben ab.

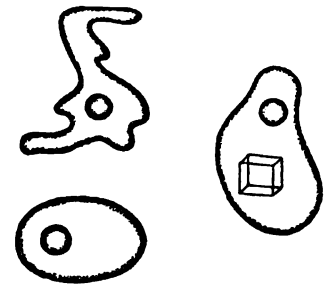
Die glasige Ausbildung tritt aber nicht immer in voller Reinheit hervor; oft ist darin die kristallinische Individualisierung bald im ersten Beginn, bald weiter vorgeschritten zu beobachten, indem zahllose winzig kleine Kristallnädelchen erscheinen, sogenannte Mikrolithen. Diese können sich in solcher Menge zusammendrängen, daß sie eine vollständige Entglasung bewirken. Häufig findet man diese Mikrolithen ganz regellos gruppiert, oft aber auch in einer eigentümlichen Gruppierung zu Zügen oder Schwärmen, einer sogenannten „Fluidalstruktur", deren Bedeutung wir noch zu besprechen haben werden.

Das Auftreten von Glasmasse ist entscheidend für die Frage der Entstehung der Massengesteine. Gläser können nur durch Erstarrung aus geschmolzenen Silikatmassen entstehen. Eine andere Bildungsweise ist unbekannt; deshalb dürfen wir auch bei älteren Gesteinen mit Glasstruktur voraussetzen, daß sie aus einem heißen Schmelzfluß erstarrt seien, und haben darin ein überaus wertvolles und entscheidendes Kriterium für die Eruptivgesteine. Aus diesem Grunde ist auch das vereinzelte, allerdings oft schwer nachweisbare Auftreten mikroskopischer Einschlüsse von Glassubstanz in den Kristallen sonst durchaus körniger Gesteine wichtig.

Wir kommen damit zu der interessanten Erscheinung mikroskopischer Einschlüsse in den Mineralen. Am häufigsten finden sich solche in Form der bereits oben erwähnten Mikrolithen; außer ihnen kommen „Gaseinschlüsse" und „Flüssigkeitseinschlüsse" vor. Diese letzteren können in manchen Gesteinen und ihren Mineralen in so großen Dimensionen auftreten, daß sie mit freiem Auge sehr deutlich sichtbar sind; aber solche Vorkommnisse sind doch zu vereinzelt, als daß sie für die Charakterisierung der Gesteine im allgemeinen von Bedeutung wären. Anders verhält es sich dagegen mit den mikroskopisch kleinen Poren, die in manchen Felsarten in sehr großer Menge vorhanden sind, aber nur in den klarsten und durchsichtigsten Mineralen deutlich und leicht sichtbar werden. Die Größe dieser Einschlüsse ist sehr verschieden; die umfangreichsten haben im Durchmesser kaum mehr als den zwanzigsten Teil eines Millimeters, während die

kleinsten selbst bei tausendfacher Vergrößerung nur als winzige Punkte erscheinen. Bei geringem Umfang sind sie meist kugelig oder eiförmig, die ansehnlicheren haben gewöhnlich einen unregelmäßigen Umriß mit Verästelungen und schlauchförmigen Anhängen. In manchen Vorkommnissen, namentlich oft in Quarzen, aber auch in Feldspaten und anderen Mineralen, sind sie in zahlloser Menge zusammengehäuft, so daß man Hunderte von ihnen im Gesichtsfeld des Mikroskops bei einander liegend sehen kann.

Die meisten Flüssigkeitsverhältnisse enthalten ein Gasbläschen, die „Libelle" (s. untenstehende Abbildung), das sich bei manchen ganz ruhig verhält oder nur bei einem Stoße zittert oder auch bei einer Neigung die Lage verändert, bei anderen dagegen unablässig in Bewegung ist. Es ist sehr wahrscheinlich, daß sich in den anstehenden Felsen diese Bläschen ebenso verhalten, und daß sich in jedem Granitblock Millionen davon in fortwährendem Tanze bewegen. Zwar ist es befremdend, daß in den festesten Felsen ein fortwährendes zuckendes Pulsieren dieser kleinsten Teilchen stattfinden soll; aber wir können nicht die mindeste Einwendung dagegen erheben.



Flüssigkeitseinschlüsse mit Libellen; einer davon mit einem Kochsalzkristall, stark vergrößert. (Nach Zirkel.)

Von hohem Interesse sind die Untersuchungen über die chemische Beschaffenheit dieser Einschlüsse. Sehr viele, ja wohl die Mehrzahl bestehen aus Wasser, das entweder rein ist, oder nur einen verhältnismäßig geringen Teil eines Salzes gelöst oder etwas Gas absorbiert enthält; in anderen aber befindet sich eine gesättigte Salzlösung, in der man bisweilen einen kleinen, würfelförmigen Kristall von Kochsalz ausgeschieden liegen sieht. Am merkwürdigsten ist jedoch das Vorhandensein reiner, flüssiger Kohlensäure, die als Flüssigkeitseinschluß durch außerordentlich feine Experimente nachgewiesen wurde. Die Kohlensäure ist bekanntlich ein Gas, das nur unter dem sehr hohen Drucke von 36 Atmosphären bei einer Temperatur von 0° flüssig wird. In den Apparaten, die in den Laboratorien zur Kondensierung der flüssigen Kohlensäure verwendet werden, dient eine sehr dickwandige schmiedeeiserne Flasche zu ihrer Aufnahme; aber trotz dieser massiven Beschaffenheit der Flasche kommt es doch vor, daß sie explodiert. Wir können daraus wichtige Schlüsse auf die Verhältnisse ableiten, unter denen sich die Gesteine mit solchen Einschlüssen gebildet haben, und müssen einen sehr hohen Druck voraussetzen.

Entstehung der Massengesteine.

Seit den Tagen A. G. Werners hat die Frage nach der Entstehung der Massengesteine die Geologen fortwährend im höchsten Grade beschäftigt, ja sie schien zeitweilig alles Interesse zu absorbieren. Der Kampf zwischen Neptunisten und Plutonisten war Jahrzehnte hindurch der Mittelpunkt, um den sich alles drehte, und wenn auch heute über die fundamentalsten Grundsätze Einigung erzielt ist, so liegt doch noch eine Menge ungelöster Rätsel im einzelnen vor.

Werner war ausgesprochener Neptunist; für ihn waren alle Gesteine Absätze aus dem Wasser, nur die Laven bildeten lokale Ausnahmen ohne größere Bedeutung. Im Gegensatz zu ihm und zu seiner zahlreichen Schule betrachteten die Vulkanisten und Plutonisten unter der Führung Huttons alle Massengesteine als Erstarrungsprodukte aus feurigem Schmelzfluß; ja, manche Vertreter dieser Richtung gingen so weit, auch Steinsalz, Gips, Marmor, kristallinische Schiefer auf diesem Wege entstehen zu lassen und überhaupt der inneren Erdwärme eine ganz übertriebene Rolle zuzuschreiben. Auch gegen diese zu weit gehende Auffassung machte sich eine Reaktion

geltend, die ihren schärfsten Ausdruck in der von G. Bischoff in Bonn gegründeten „chemisch-geologischen Schule" fand; hier wurde dem chemischen und physikalischen Experiment ein sehr weiter Spielraum gegeben und nach dieser durchaus rationellen Basis die Entstehung der Massengesteine beurteilt. Wir verdanken diesen Bemühungen einen gewaltigen Fortschritt, wenn auch die Übertreibung nicht fehlte und einzelne, auf den Standpunkt Werners zurückgehend, wieder alle Basalte und Trachyte der Tertiärzeit als Produkte wässeriger Bildung erklärten.

In neuerer Zeit hat man versucht, die Beobachtungen in der Natur und im Laboratorium zu verbinden, jeder von beiden Richtungen die ihr gebührende Berücksichtigung zu schenken und ihre Ergebnisse in Einklang zu bringen; dazu kam als neuer wichtiger Faktor die mikroskopische Untersuchung, die über eine Menge von Punkten neues Licht verbreitete. Den einzig richtigen Ausgangspunkt für die Beurteilung der Bildung der Massengesteine bieten auch hier wieder die Vorgänge in der Jetztzeit. Um die Sedimentärgesteine zu verstehen, mußten wir die Absätze studieren, die sich jetzt im Meere oder in Seen bilden; den Schlüssel für das Studium der Massengesteine liefern uns die thätigen Vulkane, deren unter unseren Augen erstarrende Laven mit den

Lavagänge im Tuff am Ätna, durch Auswitterung über die Oberfläche hervortretend. (Nach Sartorius von Waltershausen.) Vgl. Text, S. 646.

Basalten und Trachyten in engster Beziehung stehen, ja geradezu als solche bezeichnet werden können. Das Mikroskop weist in beiden dieselben Minerale nach, in beiden ist Glasmasse vorhanden, der unzweideutige Zeuge der Entstehung aus dem Schmelzfluß, und wir gelangen so zu dem Schluß, daß nach allen mineralogischen Charakteren auch Basalte und Trachyte und die ihnen verwandten Gesteine wirklich eruptiver Natur und aus geschmolzenem Zustand fest geworden sind. Bedarf diese Folgerung noch einer weiteren Bestätigung, so erhalten wir diese durch die interessanten Experimente von Fouqué und Michel-Lévy. Schon seit längerer Zeit war bekannt, daß sich eine Reihe von Mineralen, die in den Massengesteinen auftreten, auch bei den Hüttenprozessen, in den Schlacken ꝛc. bilden. Die beiden französischen Forscher haben es sich nun zur Aufgabe gestellt, durch künstliches Zusammenschmelzen der geeigneten Substanzen und langsames Abkühlen die einzelnen Minerale und Gesteine darzustellen. So gelang es ihnen, verschiedene Plagioklase, Augit, Magneteisen, Olivin, Leucit ꝛc., in mikroskopisch deutlich erkennbaren Kristallen zu erhalten. Vor allem bemerkenswert sind die vollständig gelungenen Versuche, auch gemengte Gesteine zu erhalten; so wurde z. B. ein Gemenge von 2 Teilen Olivin, 2 Teilen Labrador (ein Plagioklas) und 1 Teil Augit zunächst zusammengeschmolzen und erstarrte bei raschem Erkalten zu einem ganz amorphen Glase. Diese Masse wurde 48 Stunden hindurch in Weißglühhitze erhalten, und infolge dieses Prozesses begann die Mineralbildung, indem sich zahlreiche deutlich kristallisierte Olivine bildeten sowie Oktaeder von Magneteisen, einem Mineral, von dem behauptet worden war, daß es nur auf nassem Wege entstehen könne; neben diesen war als Grundmasse ein braunes Glas zurückgeblieben. Darauf wurde dieselbe Masse noch weitere 48 Stunden in heller Rotglühhitze erhalten, worauf fast alles Glas verschwunden war und sich noch weiteres Magneteisen, ferner Labrador und Kristallnädelchen von Augit, endlich Oktaeder eines eigentümlichen

Minerals, des Pisoliths, gebildet hatten, der auch in der Natur als accessorischer Bestandteil olivinführender Basalte häufig vorkommt; kurzum, es war Basalt entstanden.

Andere Beweise für die Entstehung der Basalte auf eruptivem Wege und seine ehemalige glühende Temperatur liefern uns die Veränderungen, die er in den Nachbargesteinen zwar nicht immer, aber doch sehr oft hervorbringt: Sandsteine zeigen sich gefrittet oder verglast und bisweilen zu Säulen abgesondert, ganz wie wir es an den Sandsteinquadern wahrnehmen, die, in

Säulenbasalt auf der Insel St. Helena. Vgl. Text, S. 646.

einen Hochofen eingemauert, Monate hindurch der Glut des schmelzenden Eisens ausgesetzt waren; Thone, Schieferthone, Mergel 2c. werden zu einer porzellanartigen Masse, sogenanntem Porzellanjaspis, umgewandelt; graue oder bläuliche Kalke werden rot gebrannt; Braunkohlen und Steinkohlen büßen ihren Gehalt an flüchtigen Substanzen, an Bitumen ein und erlangen eine anthracit- oder koksähnliche Beschaffenheit. Solche „Kontaktwirkungen", die aufs deutlichste für eruptive Bildung sprechen, sind auch bei Trachyten, Melaphyren und anderen Massengesteinen zu beobachten.

Auch die Lagerung in der Natur und das Massengefüge von Basalten und Trachyten stimmen nur mit der Annahme eruptiver Bildung überein; sie haben nicht die Schichtung sedimentärer Gesteine, sondern treten in Gängen, Kuppen und in Decken auf, die Teilen ehemaliger Eruptivströme entsprechen. Oft auch sieht man ebenso wie bei Laven, daß in Schichten ein Gang von Basalt oder Trachyt, die Bänke schneidend, aufsteigt und sich dann zwischen zwei Bänken

ausbreitet (s. S. 275). Man hat zwar behaupten wollen, daß gerade die bei Basalten und Trachyten so häufige Bildung von schmalen Gängen, die ein anderes Gestein durchsetzen, mit der Annahme einer ursprünglichen geschmolzenen Beschaffenheit unverträglich sei, da bei dem angenommenen Eindringen der feuerflüssigen Masse in diese dünnen, von kaltem Gestein umgebenen Kanäle rasch eine Erstarrung und Verstopfung eintreten müßte, ehe die letzten Verzweigungen ausgefüllt würden. So überzeugend aber eine solche Folgerung auch klingen mag, so sieht man doch leicht an den thätigen Vulkanen, daß sie unhaltbar ist; die Tuffe am Vesuv (Atrio del Cavallo) und am Ätna sind mit einer ungeheuern Menge von Lavagängen durchzogen (s. Abbildung, S. 644), deren eruptive Bildung kein Mensch bezweifeln wird, und die uns die Möglichkeit

Säulenförmig abgesonderter Quarztrachyt in den Rocky Mountains, Nordamerika. (Nach Clarence King.)

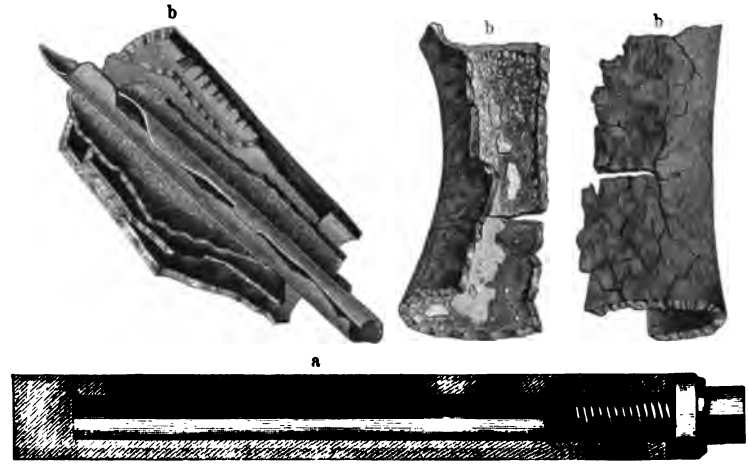
eines solchen Vorganges in der klarsten Weise darlegen. Dieselbe Beweiskraft besitzen die feinen Basaltgänge, die die mächtige Schichtfolge des Colorado-Plateaus durchschneiden und oben von kleinen Vulkankegeln gekrönt werden (s. S. 271).

Außerordentlich charakteristisch ist die säulenförmige Absonderung (s. Abbildung, S. 645), die bei so vielen Basalten genau in derselben Weise hervortritt, wie wir sie oben bei den Laven kennen gelernt haben. Die Säulenabsonderung ist übrigens durchaus nicht auf die Basalte beschränkt, sie tritt auch bei anderen Massengesteinen, z. B. bei Trachyt, Porphyr ꝛc., wenn auch seltener, auf (s. obenstehende Abbildung).

Endlich mögen noch als ein Beweis für die eruptive Entstehung die Einschlüsse von fremden Gesteinen angeführt werden, die in den Graniten und Porphyren so gut wie in den Basalten vorkommen; sie sind von der geschmolzenen Masse unterwegs losgerissen und eingehüllt worden. Besonders deutlich ist diese Art der Bildung in den Fällen, in denen das eingeschlossene Gestein nirgends an der Oberfläche vorkommt, während es sehr wahrscheinlich in der Tiefe ansteht.

So hat man in dem Basalt des böhmischen Mittelgebirges Bruchstücke von Granit gefunden, obwohl diese Felsart sonst nirgends im ganzen Gebiet zu sehen ist; der Basalt des Ascherhübels bei Spechtshausen in Sachsen umschließt Fragmente des in der Tiefe ruhenden Porphyrs, und ähnliche Fälle lassen sich in großer Zahl anführen.

Dieser Fülle von Beweismaterial gegenüber ist kein Zweifel mehr an der „pyrogenen Natur" der Trachyte, Basalte und der übrigen Massengesteine; ihre Entstehung kann nur durch Erstarrung aus geschmolzenem Zustand bei Anwesenheit absorbierter Mengen von Kohlensäure und Wasserdampf erfolgt sein. Der Umstand, daß gerade diese Frage in unserer Wissenschaft eine so große Rolle gespielt und eine Aufregung und eine umfangreiche Litteratur hervorgebracht hat wie kein anderes Problem, nicht einmal die Darwinsche Theorie, wird es begreiflich erscheinen lassen, daß dieser Gegenstand hier etwas eingehender besprochen wurde. Wir wollen deshalb auch noch einer vermeintlichen Schwierigkeit Erwähnung thun, die man früher gegen die eruptive Natur der Massengesteine geltend machte: das häufige Vorkommen von Quarz in vielen davon. Dieses Mineral wird nämlich in modernen Laven nur sehr selten gefunden, und man war früher nicht im stande, es künstlich durch Schmelzung zu erzeugen.



a) Durchschnitt einer eisernen Röhre, wie sie von Daubrée bei seinen Experimenten benutzt wurde (verkleinert); bbb) durch Behandlung mit überhitztem Wasser angegriffene Glasstücke. (Nach Daubrée.)

Diese Bedenken wurden aber durch die berühmten Experimente von Daubrée beseitigt. Daubrée erhitzte in sehr starken und wohlverschlossenen schmiedeeisernen Rohren (s. obenstehende Abbildung) Wasser weit über seinen gewöhnlichen Siedepunkt, bis zu etwa 400°, so daß es sich unter einem Drucke von ungefähr 1000 Atmosphären befand. Zu dem Wasser wurden in die Eisenrohre Glasstücke gelegt, und es zeigte sich, daß diese dabei sehr stark angegriffen und verändert wurden. Es würde zu weit führen, diese Vorgänge eingehend zu schildern; das Hauptresultat bestand darin, daß sich vollständig deutliche Quarzkristalle bildeten, die nach etwa einmonatiger Dauer der Erhitzung eine Größe von 2 mm erreichten. Bedenkt man dabei, daß gerade der Quarz unter allen Mineralen in den Massengesteinen die größte Menge von Flüssigkeitseinschlüssen zeigt, so wird man zu der Annahme geführt, daß wir die Ausscheidung des Quarzes hohem Druck und der Anwesenheit von überhitztem Wasser bei der Erstarrung zuschreiben müssen. Wir gelangen damit zu der im nächsten Kapitel zu erörternden Frage, welchen Einfluß die näheren Umstände der Erstarrung auf die Beschaffenheit der Eruptivgesteine gehabt haben.

Strukturformen der Massengesteine.

Die Vorgänge bei der Erstarrung vulkanischen Magmas an der Oberfläche haben wir im Zusammenhang mit den vulkanischen Erscheinungen eingehend besprochen; das Magma, ein mit Gasen, Dämpfen und überhitztem Wasser getränkter Glutbrei, verliert an der Oberfläche sehr rasch die verdampfenden und flüchtigen Stoffe und erstarrt, rasch abgekühlt, in schlackiger, oft auch schaumiger und glasiger Form. So heftig erfolgt in vielen Fällen die Entbindung der Dämpfe, daß das ganze Magma zerstäubt, in Asche, Tuff und Bimsstein umgewandelt wird.

Wenn man nun die Schlacken, die festen Laven und überhaupt alle vulkanischen Gesteine, in welcher Form immer sie sich auf der Oberfläche ausgebreitet haben mögen, näher untersucht, so tritt als gemeinsames Merkmal ihre porphyrische Struktur hervor, das heißt es sind in einer Grundmasse, in einem ziemlich gleichmäßigen Gewirr winziger Kriställchen, einzelne große Kristalle gleichsam schwimmend enthalten. Dabei ist zu bemerken, daß unter den dem freien Auge sichtbaren oder nur unter dem Mikroskop erkennbaren kleineren Mineralkörnern der Grundmasse dieselben Mineralarten wiederkehren, die unter den größeren Individuen gefunden werden. Wir sehen also, daß sich dieselben Typen in zwei verschiedenen Phasen der Gesteinsbildung zweimal ausgeschieden haben; die einzelnen Minerale treten gleichsam in zwei Generationen auf, in einer älteren Generation der großen Kristalle und in einer jüngeren der feineren Körner. Während die ältere Generation in der Tiefe gebildet und schon fertig an die Oberfläche gebracht sein mußte, ist die jüngere erst an der Oberfläche in fester Form ausgeschieden worden. Daß solche Ergußgesteine auch amorphes Glas in der Grundmasse enthalten, oder, wenn die Glasbasis nur spärlich entwickelt ist, doch stets Glaseinschlüsse und Dampfporen in den einzelnen Mineralkörnern führen, ist eine weitere naturgemäße Folge der Erstarrung an der Oberfläche.

Unter wesentlich anderen Bedingungen geht die Verfestigung des Magmas in großen Tiefen vor sich, also z. B. in einem mächtigen Vulkanschlot, oder in den magmatischen Massen, die nach Art der Lakkolithen oder Batholithen in die Erdkruste gedrungen, aber niemals an die Oberfläche gelangt sind (s. S. 277). In den Tiefen der Erde vollzieht sich die Erstarrung unter hohem Druck und bei hoher Temperatur. Nur äußerst langsam kann hier die Abkühlung erfolgen, und der hohe Druck verhindert ein Verflüchtigen der Gase und des überhitzten Wassers. Daher kommt es, daß sich in Tiefengesteinen keine amorphe Glasmasse findet und selbst Glaseinschlüsse in Mineralkörnern äußerst selten sind; regelmäßig und in großer Menge stößt man dagegen auf Flüssigkeitseinschlüsse. Die Stetigkeit der physikalischen und chemischen Verhältnisse bei der Erstarrung der Tiefengesteine hat zur Folge, daß sich jeder mineralische Gemengteil nur in einer Generation ausbildet und das gesamte Magma zu einem Gestein erstarrt, das aus lauter Kristallen oder kristallinen Körnern besteht und daher eine körnige Struktur annimmt. Diese ist also das bezeichnende Merkmal der Tiefen- oder plutonischen Gesteine, die porphyrische Struktur das der Erguß- oder vulkanischen Gesteine.

Sehr häufig sind die porphyrischen Massen von Schlacken, Tuffen und glasigen Bildungen begleitet, niemals aber ist dies bei körnigen Gesteinen der Fall. Die körnigen Gesteine bilden mächtige Stöcke, die porphyrischen dagegen Decken, Ströme oder Kuppen, die in irgend einer Weise ihre Entstehung durch oberirdischen Erguß bekunden, und so unterstützen auch die geologischen Erscheinungen die Deutung, die man den Strukturformen der Gesteine vom petrographischen Standpunkt gegeben hat. Selbst die Thatsache, daß die zentralen Teile eines mächtigen Stromes

bisweilen eine körnige Struktur, die rasch erkaltenden randlichen Partien eines stockförmig auftretenden Tiefengesteins dagegen, z. B. eines Granitmassivs, Porphyrstruktur haben, beweist die Richtigkeit der Scheidung der Eruptivmassen in körnige Tiefen- und porphyrische Ergußgesteine: in der Mitte eines mächtigen Stromes erfolgt eben die Erstarrung langsamer und unter höherem Druck als an der eigentlichen Oberfläche, also unter ähnlichen Bedingungen wie in der Tiefe.

Der Unterschied zwischen körniger und porphyrischer Ausbildung der Gesteine ist so auffallend, daß er schon den ältesten Petrographen aufgefallen ist; die richtige Deutung aber wurde erst viel später gegeben. Man hat ferner bemerkt, daß die körnigen Gesteine, wie Granit, Syenit, Diorit, hauptsächlich der archäischen und paläozoischen Zeit angehören, während die Trachyte, Basalte ꝛc. im allgemeinen in den geologisch jüngeren Formationen herrschen, und man hat hieraus geschlossen, daß den verschiedenen Altersstufen verschiedene Eruptivgesteine entsprechen. Aber diese Anschauung ist offenbar unrichtig, denn wir kennen thatsächlich paläozoische Ergußgesteine, die nicht wesentlich von den jungvulkanischen abweichen, wie auch umgekehrt körnige Tiefengesteine von jüngerem geologischen Alter vereinzelt nachgewiesen worden sind. Daß aus jenen frühen Perioden der Erdgeschichte vorwiegend körnige Gesteine erhalten sind, erklärt sich einfach daraus, daß die Ergußgesteine meist der Denudation zum Opfer gefallen sind. Das Gegenteil gilt für die jüngeren Perioden: die Denudation hat noch nicht Zeit gefunden, die Ergußgesteine zu zerstören und die dazu gehörigen körnigen Tiefenbildungen allgemein bloßzulegen.

Die Richtigkeit dieser Auffassung ist durch so viel Thatsachen und geologische Beobachtungen gestützt, daß wir im allgemeinen daran festhalten müssen. Wir wollen aber doch nicht verschweigen, daß daneben auch einige Bedenken auftreten, unter denen namentlich eins hervorgehoben worden ist: wenn wir auch annehmen dürfen, daß die oberflächlichsten Teile der paläozoischen Vulkane durch Erosion zerstört worden sind, so müßte man doch erwarten, Überbleibsel davon in den Trümmergesteinen, den Konglomeraten, jener Periode zu finden; aber noch nie hat man z. B. ein Trachytstück in einem paläozoischen Konglomerat gefunden. Auch die Beschaffenheit der Lakkolithen sollte gegen die Abhängigkeit der Struktur vom geologischen Ort sprechen: obwohl die Lakkolithen in der Erdkruste fest geworden sind, haben sie doch keine granitische, sondern eine trachytische Struktur. Diese Schwierigkeiten sind aber, wie es scheint, nicht unüberwindlich.

Was die Lakkolithen betrifft, so nähern sie sich insofern der körnigen Struktur, als die porphyrisch eingesprengten großen Kristalle in einer körnigen Grundmasse ohne Glasbasis enthalten sind, und der Mangel von Trachytgeröllen in paläozoischen Konglomeraten kann noch weniger in Betracht kommen, denn in Wirklichkeit gibt es paläozoische Ergußgesteine, wenn sie auch an Masse gegen die Tiefengesteine zurücktreten. Man benennt sie freilich nicht so wie die geologisch jungen Ergußgesteine der Tertiärzeit, aber mit Unrecht, denn die Unterschiede sind unwesentlich: sie beruhen nämlich nur auf dem Erhaltungszustand. Die paläozoischen Ergußgesteine sind lange Perioden hindurch der Verwitterung und verschiedenen chemischen Vorgängen ausgesetzt gewesen, und daher sehen sie weniger frisch, weniger lavaartig aus als die tertiären Eruptivgesteine; es kommt aber vor, daß auch dieses äußerliche Merkmal nicht zutrifft, und dann können selbst die geübtesten Petrographen an Handstücken nicht entscheiden, ob ein bestimmtes Vorkommnis z. B. zum jungvulkanischen Quarztrachyt oder zum altvulkanischen Quarzporphyr gehört. Auch gewisse basische, schwarz oder dunkelgrün gefärbte Eruptivgesteine der Silur-, Kohlen- oder Triasformation vermögen wir von jungtertiären Basalten nicht zu unterscheiden, wir finden sie überdies noch in manchen Fällen von Tuffen begleitet. So wie man heute zwischen Basalt und basaltischer Lava nicht mehr unterscheidet, so wird man sich auch daran gewöhnen, von dem Erhaltungszustand der Eruptivgesteine abzusehen, man wird paläozoische Porphyre und tertiäre

Trachyte, paläozoische und tertiäre Basalte vereinigen. Natürlich entfällt dann der Einwand des Mangels trachytischer Geschiebe in den paläozoischen Konglomeraten von selbst.

Erwägungen dieser Art beantworten auch die Frage, ob man dem geologischen Alter bei der Einteilung und Bezeichnung der Eruptivgesteine eine Bedeutung einzuräumen habe. Bisher war dies üblich, und es mag vielleicht aus praktischen Gründen noch nicht der Augenblick gekommen sein, mit diesem gewiß unrichtigen Verfahren radikal zu brechen. Selbst wenn noch nicht bewiesen wäre, daß in paläozoischer und mesozoischer Zeit dieselben Typen und Erstarrungsformen des vulkanischen Magmas zur Ausbildung gelangt sind wie in der Tertiärperiode, müßte die Petrographie die Unterscheidung der Felsarten nur nach petrographischen Merkmalen und petrographischer Methode vornehmen.

Die wichtigsten Gesteinstypen.

Nicht das geologische Alter, sondern die chemische Beschaffenheit und die Zusammensetzung aus einzelnen Mineralen ist in erster Linie für die Einteilung der Gesteine ausschlaggebend. Dasselbe Magma, das an der Oberfläche vulkanische Ergußgesteine von bald porphyrischer, bald mehr glasiger Beschaffenheit liefert, erstarrt in der Tiefe zu plutonischen körnigen Massen. So können wir in jeder Hauptabteilung der Eruptivgesteine speziellere Unterschiede nach der Struktur und der Erstarrungsform vornehmen.

Wir eröffnen die Betrachtung der einzelnen Felsarten mit dem Granit als dem Typus der körnigen, Orthoklas und Quarz führenden Gesteine der älteren Formationen. Quarz und Orthoklas, Glimmer, oft in beiderlei Abänderungen, sind die wesentlichen Gemengteile, zu denen sich oft noch ein Plagioklas oder statt des Glimmers Hornblende gesellt. Der Charakter und das Aussehen dieses Gesteins sind so allgemein bekannt, daß wir über seinen allgemeinen Habitus kaum etwas zu bemerken brauchen.

Der Quarzporphyr im weitesten Sinne stellt die porphyrische Ausbildung desselben Typus dar; er hat bald deutlich körnige Grundmasse mit großen eingesprengten Kristallen (Granitporphyr), bald kann man in der Grundmasse mit freiem Auge keine Körner unterscheiden. Diese Abänderungen, meist von roter Farbe, bezeichnet man als typischen Quarzporphyr; unter dem Mikroskop dagegen zerfällt die Grundmasse bei manchen in deutliche Körner, bald ist sie felsitisch, oder es stellt sich Glasmasse ein, die endlich vollständig dominieren kann. Verschwinden auch die eingesprengten Kristalle, oder treten sie stark zurück, so liegen Felsitpechsteine vor, die glasige Ausbildung der alten Quarz-Orthoklasgesteine.

In den jüngeren Ablagerungen ist dieser Typus durch die Rhyolite oder Liparite (Quarztrachyte) vertreten, die sich von den älteren Gesteinen, wie schon erwähnt wurde, nicht wesentlich unterscheiden. Statt des gewöhnlichen Orthoklas tritt dessen glasglänzende, rissige Abänderung auf, der Sanidin. Als Gläser gehören hierher: Obsidiane, Bimssteine, Perlite und ähnliche Gebilde; doch werden bis jetzt nicht nur die Gläser der Liparite, sondern auch diejenigen der ferner zu besprechenden Trachyte und Andesite zusammengefaßt.

Für die übrigen Typen begnügen wir uns mit einer kurzen Aufzählung:

Syenit, körniges Gestein, wesentlich aus Orthoklas und Hornblende bestehend. Dazu gehört als altvulkanisches Ergußgestein der quarzfreie Porphyr, als jungvulkanisches der Trachyt.

Eläolithsyenit, körniges Gemenge von Feldspat und Eläolith; die porphyrische Abänderung bildet der Klingstein oder Phonolith, in dem der matte Feldspat durch glasglänzenden Sanidin, der Eläolith durch Nephelin oder Leucit vertreten wird; die glasige Abänderung heißt Phonolithobsidian.

Von körnigen Gesteinen sind noch als besonders häufig und wichtig zu nennen:

Diorit, ein körniges Gemenge, wesentlich aus Plagioklas und Hornblende bestehend.

Diabas, körniges Gemenge aus Plagioklas und Augit.

Gabbro, körniges Gemenge aus Plagioklas und Diallag.

Unter den porphyrischen Gesteinen entspricht dem Diorit der altvulkanische Porphyrit und der jungvulkanische Andesit, Propylit und Dacit, dem Diabas der Augitporphyrit sowie der Olivin führende Melaphyr.

Als Basalte fassen wir alle stark basischen, in typischer Ausbildung dichten, schwarzen Massengesteine der Tertiärzeit zusammen, von denen bisweilen die deutlich körnigen Typen als Dolerit gesondert werden. Sie stellen die tertiären und modernen Glieder der Diabas- und Melaphyrgruppe dar, zerfallen aber trotz ihrer einheitlichen Erscheinungsform nach der mineralogischen Zusammensetzung in mehrere Unterabteilungen.

Zum Schluß sei noch der Serpentin erwähnt, ein der Hauptsache nach aus Kieselsäure, Magnesia und Wasser bestehendes einfaches Gestein, meist von grüner Farbe, das sehr leicht durch seine geringe Härte zu erkennen ist. Es ist so weich, daß es mit dem Messer nicht nur geritzt, sondern sogar geschabt werden kann. Serpentine treten schon in sehr alten Ablagerungen auf, kommen aber auch mit jüngeren Schichten, selbst noch mit solchen des unteren Tertiär, vergesellschaftet vor. Übrigens ist der Serpentin kein ursprüngliches Gestein, sondern ein Umwandlungs- und Zersetzungsprodukt anderer Felsarten, wohl am häufigsten von Olivingestein.

---

9. Kristallinische Schiefer.

Inhalt: Die kristallinischen Schiefer und ihre Lagerung. — Organisches Leben in archäischer Zeit. — Jüngere kristallinische Schiefer. — Entstehung der kristallinischen Schiefer.

Die kristallinischen Schiefer und ihre Lagerung.

Wir haben zwei Haupttypen von Felsarten kennen gelernt, über deren Entstehung bei allen Schwierigkeiten im einzelnen doch der Hauptsache nach Rechenschaft gegeben werden konnte. Bei der Betrachtung der sedimentären Gesteine waren die Beobachtungen der sich jetzt bildenden Niederschläge von festen Teilen aus dem Wasser, bei der Untersuchung der massigen Gesteine war die Analogie mit den Produkten der heute thätigen Vulkane maßgebend. Es gibt aber noch eine dritte große Gruppe von Felsarten, die kristallinischen Schiefer, die verschiedene Eigentümlichkeiten der Massen- und Schichtgesteine in der merkwürdigsten Weise in sich vereinigen, mit beiden durch Übergänge in Verbindung stehen, aber mit keiner heute unter unseren Augen vor sich gehenden Bildung übereinstimmen. Da sie zum größten Teil wie mechanische Absätze aus dem Wasser deutlich geschiefert und geschichtet, aber zugleich aus kristallinischen Silikatbestandteilen zusammengesetzt sind, ist ihre Entstehung wegen dieser eigentümlichen Kombination der Charaktere fast unerklärlich; wie an eine Sphinx treten wir an diese rätselvollen Massen von Gneisen, Glimmerschiefern, Phylliten ꝛc. heran, die, in ungeheurer Mächtigkeit auftretend, weite Räume der Erdoberfläche einnehmen und die Unterlage der meisten Sedimente bilden.

Die kristallinischen Schiefer sind, wie die Massengesteine, ihrer chemischen Zusammensetzung nach Silikate; ihr wichtigster Bestandteil ist Kieselsäure, deren Menge 40—80 Prozent des gesamten Gewichts ausmacht. Neben ihr sind noch Thonerde, Eisenoxyd und Eisenoxydul,

Kalk, Magnesia, Kali, Natron und etwas Wasser vorhanden, und diese Elemente gruppieren sich in den einzelnen Gesteinen zu verschiedenen Mineralen, unter denen Quarz, Feldspate, Glimmer, Hornblende, Chlorit, Talk die wichtigsten sind.

Wir müssen notwendig einige dieser Schiefer kennen lernen, ehe wir uns auf die nähere Besprechung ihres Vorkommens und auf die Hypothesen über ihren Ursprung einlassen können, und teilen deshalb zunächst die chemische Zusammensetzung einiger dieser Schiefer mit:

Bestandteile	Roter Gneis aus Sachsen	Grauer Gneis aus Sachsen	Gneis von Trosa in Schweden	Granulit von Roßwein in Sachsen	Glimmerschiefer von Zermatt	Glimmerschiefer aus Sachsen	Grünschiefer aus Sachsen	Phyllit aus Schlesien	Biol. Sericitschiefer von Wiesbaden	Gefleckter Sericit von Wiesbaden	Hornblendeschiefer aus Böhmen	Hornblendeschiefer aus Finnland	Chloritschiefer aus dem Pfitschthal	Talkschiefer von Gastein
Kieselsäure .	75,91	66,42	56,80	69,94	79,50	66,21	54,42	61,72	55,84	70,99	48,65	50,15	42,08	50,81
Thonerde . .	14,11	14,76	20,73	10,05	13,36	18,60	15,32	19,55	15,62	13,77	16,42	13,30	3,51	4,53
Eisenoxyd . .	—	—	6,27	—	2,87	—	5,61	—	4,86	0,38	18,62	27,84	—	7,58
Eisenoxydul .	2,03	7,50	5,65	4,66	—	5,34	7,14	8,55	8,25	3,91	5,17	—	27,44	
Kalk . . .	1,14	2,20	0,94	2,41	0,71	0,44	7,49	0,55	0,50	0,41	7,16	0,59	1,04	—
Magnesia . .	0,40	1,80	2,90	1,60	0,95	1,24	3,84	1,08	1,39	0,37	2,32	2,65	17,10	31,55
Kali . . .	4,16	3,52	3,96	5,94	4,69	3,80	0,94	4,81	6,13	4,81	0,56	0,89	—	—
Natron . .	1,77	1,75	1,08	3,30	0,36	2,16	5,77		1,70	3,13	0,89	1,70	—	—
Wasser . . .	1,16	1,85	1,11	0,98	0,78	2,04	0,51	3,74	*5,19	*1,50	0,21	0,26	11,24	4,42
Zusammen:	100,68	99,80	99,44	98,88	103,22	99,83	101,04	100,00	99,48	99,27	100,00	97,38	102,41	98,89

Die in der Rubrik Wasser stehenden, mit einem Sternchen bezeichneten Zahlen bezeichnen Wasser und Fluorsilicium.

In erster Linie ist der Gneis zu nennen, ein Gestein, das wesentlich aus Kalifeldspat oder Orthoklas, aus Quarz und aus Glimmer besteht. Dieselbe Zusammensetzung hat unter den körnigen Felsarten der Granit; der Unterschied zwischen beiden besteht nur darin, daß die einzelnen Mineralen im Granit regellos gelagert, im Gneis dagegen mehr oder weniger vollständig parallel angeordnet sind, und daß der Gneis dadurch eine bald sehr deutliche, bald mehr verschwimmende Schieferung erhält. Diese geschieferten Massen sind außerdem noch zu Bänken oder Schichten angeordnet; da jedoch Schieferung sowohl als Schichtung zurücktreten können, so wird dadurch ein Übergang zum Granit hergestellt. Eine dem Gneis nahestehende Felsart, die eine geringere Rolle spielt als jener, ist der Granulit; er enthält keinen Glimmer, besteht also nur aus Feldspat und Quarz und schließt häufig noch Granat ein. Im Glimmerschiefer, der wieder ein sehr verbreitetes und in riesigen Massen auftretendes Gestein ist, sehen wir ein schieferiges Gemenge von Quarz und Glimmer, eine Mineralkombination, für die wir unter den Massengesteinen kein entsprechendes Glied von gleicher Zusammensetzung finden. Vom Glimmerschiefer führen Übergänge, die man als Thonglimmerschiefer, kristallinische Thonschiefer, Urthonschiefer oder Phyllite bezeichnet, und die in großer Verbreitung auftreten, zu den gewöhnlichen, klastischen Thonschiefern hinüber, in denen keine kristallinische Individualisierung der gesamten Gesteinsmasse vorhanden ist. Oft werden die bereits genannten kristallinischen Schiefer noch von Hornblendeschiefer, Talkschiefer, Chloritschiefer begleitet, deren mineralische Beschaffenheit schon aus ihren Namen hervorgeht, und endlich hat man unter der Bezeichnung „Grünschiefer" eine Gruppe von Gesteinen zusammengefaßt, die alle durch ihre grüne Farbe ausgezeichnet sind, aber ihre mineralische Konstitution mit freiem Auge nicht erkennen lassen. Die mikroskopische Untersuchung hat zwar nachgewiesen, daß unter diesem Namen sehr verschiedenartige Gesteine zusammengefaßt werden und man daher vom petrographischen Standpunkt aus diese Abteilung nicht als berechtigt anerkennen kann; aber dennoch ist es für den Geologen noch immer von

Nutzen, diese äußerlich einander durchaus ähnlichen Gesteine unter einer gemeinsamen Bezeichnung zusammenzufassen.

Als stete Begleiter der kristallinischen Schiefer sind noch zwei Gesteine zu nennen, die größtenteils keine feinere Parallelstruktur zeigen, aber mit den kristallinischen Schiefern untrennbar geologisch verknüpft sind, so daß sie mit diesen im Zusammenhang betrachtet und einer gemeinsamen Erklärung unterzogen werden müssen: zunächst der Quarzit, eine deutlich kristallinische Quarzmasse, und ferner der kristallinische oder körnige Kalk oder Marmor[1], ein oft weißes, aus deutlichen kristallinischen Individuen bestehendes Kalkspataggregat, dessen Korn bald dem des gewöhnlichen Zuckers gleichkommt, bald viel gröber ist. Oft tritt er in Bänken, oft aber auch in gewaltigen linsenförmigen Massen auf und bildet dann als schwer verwitterndes Material

Die Kalkmasse des Athos, vom Kloster Karokalu (Chalkidike) aus gesehen.

hervorragende Berge oder Bergzüge im Gebiete der Schiefer. So besteht die gewaltige, fast 2000 m hohe Pyramide des Athos, die Hochwarte des griechischen Archipels, aus einer riesigen Marmorlinse, die den kristallinischen Schiefern eingeschaltet ist und infolge ihrer Widerstandskraft hoch über die sanften Rücken dieser hervorragt (s. obenstehende Abbildung).

Wie wir gesehen haben, vereinigen die kristallinischen Schiefergesteine in ihrer Gesamtheit Merkmale von sedimentären und von Massengesteinen in sich. Die Analogien nach der einen Seite haben dahin geführt, in den Schiefern ein Produkt der Erstarrung aus glühendem Schmelzfluß zu sehen, diejenigen nach der anderen Richtung, sie als unmittelbar aus Wasser gebildete Ablagerungen zu betrachten. Da aber jede dieser Auffassungen großen Schwierigkeiten begegnet, so müssen wir uns zu einer eingehenden Diskussion dieser Verhältnisse entschließen.

Der einfachste Weg scheint der zu sein, daß wir die einzelnen Minerale der kristallinischen Schiefer ins Auge fassen und erwägen, in welcher Weise sie entstanden sein können. Für die

[1] In der Gesteinslehre wird nur dieser körnige Kalk, dessen bekanntester Repräsentant der weiße Statuenmarmor ist, als Marmor bezeichnet, ganz abweichend von dem Sprachgebrauch, der jeden polierfähigen Kalk mit diesem Namen belegt.

Mehrzahl unter ihnen stehen hier sehr verschiedene Wege offen, und gerade für einige Typen, die in den Schiefern die allergrößte Rolle spielen, kennen wir sehr mannigfaltige Bildungsarten; Quarz, Feldspat, Hornblende, Augit, Glimmer können unmittelbar aus Schmelzfluß auskristallisieren, und Vorkommnisse dieser Art sind teils in der Natur gefunden, teils im Laboratorium künstlich erzeugt worden. Die meisten dieser Minerale finden sich aber auch als Sublimationsprodukte, als unmittelbare Bildungen aus den heißen Dämpfen der Vulkane an Kratern und Lavaströmen, und anderseits treten sie in der Natur unter Umständen auf, die zeigen, daß sie sich bei gewöhnlicher Temperatur aus wässeriger Lösung ausgeschieden haben. Wir sehen sie als sogenannte Pseudomorphosen, deren Wesen weiter unten erläutert werden soll, oder auch als Kristalle im Inneren tierischer Versteinerungen, d. h. unter Verhältnissen, die jede andere Erklärung ausschließen. Endlich haben uns die am Ende des vorigen Kapitels erwähnten Versuche von Daubrée noch eine weitere Art der Bildung, nämlich durch die Einwirkung von überhitztem Wasser auf verschiedene Silikate, kennen gelehrt. Körniger kohlensaurer Kalk muß zwar hauptsächlich als Produkt wässeriger Kristallisation betrachtet werden, doch haben Versuche verschiedener Forscher den Beweis geliefert, daß Kreidepulver, Muschelschalen, Aragonit ꝛc., unter hohem Drucke geglüht, zu kristallinischem Kalk werden. Stark wasserhaltige Körper, wie

Durchschnitt durch den Böhmerwald: a) bojischer Gneis, b) hercynischer Gneis, c) hercynischer Glimmerschiefer mit einer Graniteinschaltung, d) Phyllit, e) kambrische und Silurformation, f) Kohlenformation. (Nach W. von Gümbel.)

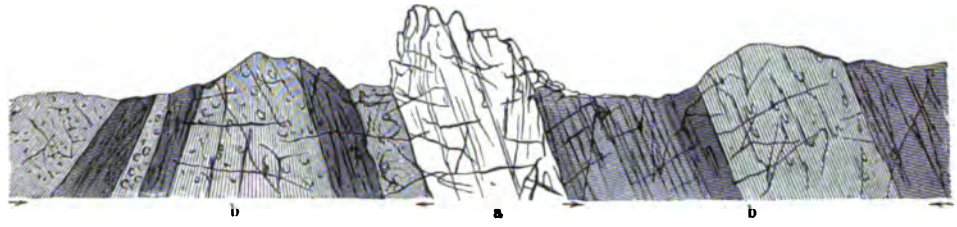
Chlorit oder Talk, können allerdings nicht unmittelbar aus einem Schmelzfluß hervorgehen; aber gerade diese treten so häufig und allgemein als Zersetzungsprodukte anderer Minerale auf, daß man ihnen wohl auch in den Schiefergesteinen eine ähnliche Entstehung zuschreiben darf.

Eine einfache theoretische Ableitung aus den Erfahrungen über die Bildung der einzelnen Mineralbestandteile der Schiefer liefert also keine Resultate, sondern es gibt für jeden Schiefer eine Reihe von Möglichkeiten, so daß wir alle übrigen Daten, vor allen die Lagerung und das Vorkommen, zu Rate ziehen müssen. Wo die kristallinischen Schiefer auftreten, bilden sie gewöhnlich die ältesten Gesteine, die Unterlage, über der sich die jüngeren Absatzgesteine erheben; nur manche Granite ꝛc., die mit jenen in Verbindung stehen, reichen in ebenso frühe Zeiten zurück. Für eine große Anzahl von Distrikten läßt sich auch bestimmt nachweisen, daß die kristallinischen Schiefer älter sind als die ältesten Schichten, aus denen man bis jetzt überhaupt sicher deutbare Fossilien kennt; sie gehen als sogenannte archäische Bildungen selbst der kambrischen Formation mit ihrem rudimentären Tierleben voran. Böhmen, Schweden, England, Nordamerika und viele andere Gegenden haben diese Lagerungsfolge kennen gelehrt, die wir an einigen Beispielen erläutern wollen.

Auf der Grenze zwischen Bayern und Böhmen liegt ein breites Waldgebirge, der Bayrische Wald und der Böhmerwald, der fast ganz aus „Urgebirge" zusammengesetzt ist. Es besteht aus einem breiten Walle lang gezogener, rundlicher Berge, die sich so dicht und gleichförmig aneinander schließen, daß man sie mit einem erstarrten welligen Meere verglichen hat; dunkle Urwälder bekleiden die Höhen, deren bedeutendste sich zu fast 1500 m erheben. Die Lagerung der Schichten ist im großen und ganzen gleichmäßig und zwar in der Art angeordnet, daß sie von Nordwesten nach Südosten streichen und nach Nordosten einfallen. Das Idealprofil (s. obenstehende Abbild.) vergegenwärtigt diese Verhältnisse, aus denen folgt, daß man beim Betreten des südwestlichen

Gebirgsrandes auf die ältesten Gebilde stößt und beim Durchschreiten des ganzen Zuges in der Richtung gegen Nordosten auf immer jüngere Schichten trifft.

Die ältesten Gesteine sind sehr mächtige, vorherrschend rötliche Gneise, die von Gümbel als die bojische Gneisformation bezeichnet werden. Diese überlagernd folgen dann petrographisch etwas abweichende Gneise von meist grauer Färbung, die hercynische Gneisformation. In dieser werden die höchsten Schichten oft ärmer an Feldspat und reicher an Glimmer, und schließlich entwickeln sich reine Glimmerschiefer, mit denen sich Hornblendeschiefer verbinden:



Durchschnitt durch den „Pfahl" im Böhmerwald: a) Quarzit, b) Gneis. (Nach W. von Gümbel.)

die hercynische Glimmerschieferformation. Endlich die jüngste Stufe bilden kristallinische Thonschiefer oder Phyllite, die hercynische Phyllitformation, die nach oben in gewöhnliche, nicht kristallinische Thonschiefer übergeht. Es folgen Grauwacken, und hier stellen sich die ersten sicher deutbaren Reste von tierischen Versteinerungen ein: wir befinden uns in der kambrischen

Eine Partie des „Pfahles" im Böhmerwald. (Nach W. von Gümbel.) Vgl. Text, S. 656.

Formation. Sowohl die hercynische als die bojische Abteilung werden von stock- und gangförmigen Massen von Granit und anderen körnigen Felsarten unregelmäßig durchsetzt. Die tektonische Bedeutung dieser Granite ist oft schwer zu erklären. Besonders auffallend sind die in den roten Gneisen eingeschalteten granitischen Partien, die sich von jenen nur durch das Fehlen der Schieferung unterscheiden, aber dieselbe bunte Färbung, dieselben Varietäten der Feldspate, Glimmer ꝛc. besitzen, kurzum sich als gleichartig gemengte, ungeschieferte, in dicke Bänke gesonderte Abänderungen des Schiefergesteins darstellen; analoge Graniteinlagerungen finden sich auch in den hercynischen Gneisen und entsprechen diesen in ihrer ganzen petrographischen Beschaffenheit.

Unter den anderen Einschaltungen sind wohl am merkwürdigsten die Quarzite, die am hervorragendsten innerhalb der bojischen Gneise auftreten (s. die obere Abbildung). Diese Gneise enthalten namentlich eine verhältnismäßig wenig mächtige, aber auf sehr weite Strecken verfolgbare, gangartige Einschaltung von Quarzit, der sich infolge seiner außerordentlichen Widerstandskraft gegen die Verwitterung überall aus dem Gneis erhebt und wie eine zerklüftete und halb in Ruinen zerfallene Riesenmauer über die Umgebung emporragt. Der „Pfahl" heißt diese

auffallende Felsbildung dort im Volksmunde; in fast gerader Linie läßt sich der zackige Felsgrat nur mit wenigen Unterbrechungen mehr als 18 geogr. Meilen weit verfolgen (s. die Abbildung, S. 655, unten). Von anderen Bestandteilen der archäischen Gesteine nennen wir noch eingelagerte Bänke körnigen Kalkes sowie Graphit, die amorphe Modifikation des Kohlenstoffs, die bekanntlich zur Bleistiftfabrikation dient; der Graphit findet sich teils im Gneis, teils im Kalk und bildet ziemlich regelmäßige, oft weithin verfolgbare Flöze.

Die Verhältnisse im Böhmerwald mögen als ein Typus des Auftretens der alten kristallinischen Schiefer dienen, wie sie in den sogenannten Massengebirgen Europas vorkommen. Sehr ähnliche Verhältnisse wiederholen sich in anderen Gegenden, und speziell ist hervorzuheben, daß in der Regel als ältestes Glied Gneise, über ihnen Glimmerschiefer und die ihnen verwandten Gesteine und zu oberst Phyllite vorkommen, die den Übergang zu den fossilführenden Formationen bilden. In Sachsen z. B. wiederholt sich auch die Zweiteilung des Gneises in eine ältere rote und in eine jüngere graue Stufe, entsprechend der bojischen und hercynischen Formation Gümbels. Die Glimmerschiefer zeigen hier eine interessante Eigentümlichkeit, indem sie stellenweise durch Abnutzung gerundete Rollstücke älterer Felsarten, wie Gneis und Granit, in Menge enthalten. Dieses in archäischen Gesteinen sehr seltene Vorkommen, das sich jedoch auch in anderen Gegenden, z. B. in Norwegen, in Nordamerika, in den Nordostalpen wiederholt, ist von großer Bedeutung für die Frage nach der Entstehung der kristallinischen Schiefergesteine.

Von außereuropäischen archäischen Bildungen, unter denen noch die von Zentralafrika, von China und von Brasilien wegen ihrer riesigen räumlichen Verbreitung hervorzuheben sind, sollen hier nur die von Nordamerika zum Vergleich mit denen des Böhmerwaldes besprochen werden. In Nordamerika sind sehr eingehende Studien über diesen Gegenstand gemacht worden; auch dort ergab sich eine Anordnung, die mit der von uns früher betrachteten große Ähnlichkeit hat. In regelmäßiger Schichtung liegen die Gesteine, und die Reihenfolge wird durch gewaltige Gneismassen eröffnet, in denen mächtige Lagen von Quarziten und Kalken von fast durchgängig kristallinischer, sehr selten dichter Struktur enthalten sind. Von Bedeutung sind auch die allerdings sehr spärlichen Bänke von Konglomeraten sowie das Auftreten von Graphit. Über diesen Gesteinen, deren Mächtigkeit auf mehr als 6000 m veranschlagt wird, folgt in manchen Gegenden, durch diskordante Lagerung von jenen getrennt, eine jüngere, etwa 3000 m mächtige Stufe, in der Hypersthenite, körnige Kalke und Magneteisensteine besonders hervortreten. Die ganze Schichtfolge der Gneise und Hypersthenite wird von den amerikanischen Geologen als laurentinisches System bezeichnet, nach dem Lorenzstrom, in dessen Gebiet sie ihre höchste Entwickelung erreicht.

Der Indianerstamm der Huronen oder der einst von ihnen umwohnte Huronensee hat einem jüngeren System kristallinischer Schiefer den Namen gegeben; Glimmerschiefer, Chlorit- und Talkschiefer, Phyllite, Graphitschiefer, Quarzite, Konglomerate, körnige Kalke lagern diskordant auf den laurentinischen Schichten, ruhen auf deren Rändern auf und füllen ihre Niederungen aus. In den höchsten Lagen treten, wenn auch sehr spärlich, unzweideutige Überbleibsel von tierischen Fossilien auf, nämlich Stielglieder von Seelilien oder Krinoiden sowie minder deutliche Spuren, die der Anwesenheit von Ringelwürmern zugeschrieben werden; aber diese Ablagerungen rechnet man jetzt nicht zur archäischen, sondern zur fossilführenden kambrischen Formation.

Wenn so in mehreren sehr verschiedenen Gegenden unter den tiefsten kambrischen Schichten zunächst kristallinische Thonschiefer oder Phyllite liegen, wenn diese durch Glimmerschiefer und die verwandten Gesteine „unterteuft" sind und endlich die Basis des Ganzen eine Gneismasse bildet, die häufig in einen oberen Komplex mit vorwiegend grauer und einen unteren mit vorwiegend bunter oder roter Farbe zerfällt, so legen derartige Verhältnisse die Annahme nahe, daß sich diese einzelnen Abteilungen in den verschiedenen Gegenden als gleichzeitige Bildungen entsprechen, wie

dies auch von zahlreichen Forſchern behauptet worden iſt. Vorläufig fehlt aber noch jeder Beweis für die Richtigkeit dieſer Annahme.

Organiſches Leben in archäiſcher Zeit.

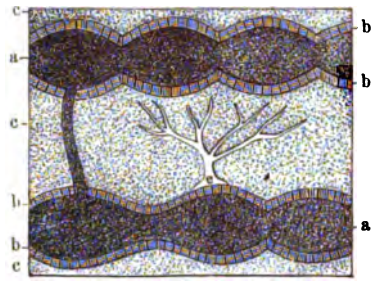
Es iſt ſicher, daß wir aus vielen Gegenden unter den älteſten kambriſchen Ablagerungen mächtige Maſſen geſchichteter und meiſt auch geſchieferter kriſtalliniſcher Geſteine kennen, deren Entſtehung zu erklären eine der Hauptaufgaben der Geologie iſt. Dabei tritt uns eine andere wichtige Frage entgegen: Haben in der archäiſchen Zeit ſchon Organismen gelebt, oder herrſchten damals auf dem Erdball Verhältniſſe, die deren Exiſtenz unmöglich machten?

In neueſter Zeit wurden von Ch. Barrois in den Kieſelſchiefern der Bretagne, die mit Phylliten wechſellagern, deutliche und zahlreiche Radiolarien nachgewieſen. So intereſſant auch dieſer Fund iſt, auf den wir im zweiten Bande noch zurückkommen werden, ſo iſt er doch für unſere Frage nicht ſo bedeutungsvoll, denn die betreffenden Radiolarien treten erſt an der oberen Grenze der archäiſchen Formation gegen das Kambrium auf. Ein Gebilde aber hat bei ſeiner Auffindung das größte Aufſehen erregt, da es bis mitten in den Gneismaſſen des Grundgebirges das Vorhandenſein deutlicher Foſſilreſte zu beweiſen ſchien. Mit Einem Schlage that ſich ein Ausblick auf, der ungemeſſene Zeiträume mit organiſchen Weſen lange vor Beginn der kambriſchen Bildungen zeigte. An der Baſis ungeheuer mächtiger kriſtalliniſcher Geſteinskomplexe tauchten die Spuren eines Weſens von niedrigem Entwickelungsgrade auf, und mit Recht durfte man es das Eozoon (ἠώς [eos], Morgenröte; ζῷον [zoon], Tier) nennen, das Weſen, das die erſte Dämmerung beginnenden Lebens bezeichnete. Allerdings iſt dieſen Anſchauungen keine Beſtätigung zu teil geworden, ſie beruhen wohl ſicher auf einem Irrtum. Da aber die Anſichten von der tieriſchen Natur des Eozoons vielfach einen ſehr tiefgreifenden Einfluß ausgeübt haben, ſo müſſen wir dieſes Gebilde etwas genauer beſprechen.

Eozoon. (Nach Logan.) ½ natürl. Größe. Vgl. Text, S. 657 und 658.

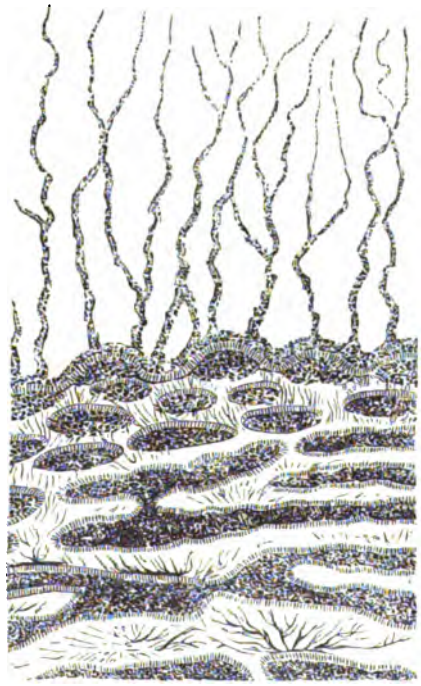
In den Marmormaſſen, die den laurentiniſchen Gneiſen Kanadas eingelagert ſind, finden ſich Partien, die ſich durch Einſprengung von Körnern, Bändern und Faſern von Serpentin oder ähnlichen waſſerhaltigen Silikaten auszeichnen. Bei genauerer Betrachtung dieſes Geſteins fiel

dem kanadischen Geologen Logan auf, daß die Anordnung der Mineralgemengteile Ähnlichkeit mit der Anordnung von Kammern und Kanälen mancher niedrig organisierter, kalkschaliger Tiere besitze. In Kanada trat namentlich Dawson für diese Annahme ein, die große Verbreitung fand, als sich im Jahre 1864 einige der ersten Foraminiferenkenner Englands für die tierische Natur des Eozoons erklärten. In den verschiedensten archäischen Distrikten Europas, in Irland, Schweden, im bayrisch-böhmischen Grenzgebirge, in Schlesien, in den Alpen und Pyrenäen, wurden ähnliche Bildungen gefunden, als Eozoon bezeichnet und eingehenden Studien über ihre Struktur unterzogen.



Ein Stück Eozoon: a) Serpentinausfüllung der Kammern, b) Faserstreifen, c) kompakter Kalk, e) verzweigter Kanal. (Ideal dargestellt nach Carpenter.) Stark vergrößert.

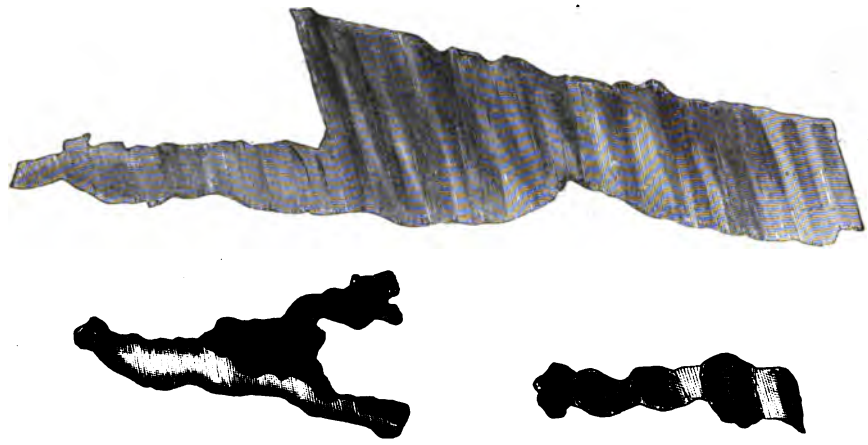
Das Eozoon wurde als eine hand- und selbst kopfgroße, irregulär gebaute Form aus der Abteilung der Foraminiferen, niedrig organisierter Urtiere, beschrieben; der Kalk sollte das Gehäuse, die Serpentinpartikeln sollten die Ausfüllung von Kammern und Kanälen im Gehäuse darstellen. Die äußere Gestalt zeigt in der Regel eine breite Basis und gewölbte Oberseite (s. Abbildung, S. 657). Ohne Vergrößerung sieht man reihenförmig angeordnete Streifen von Serpentin, die an manchen Stücken zahlreiche Einschnürungen zeigen und dadurch ein perlschnurartiges Aussehen erhalten; jede Perle würde demnach eine Kammer darstellen, deren jede mit den beiden benachbarten in weit offener Verbindung stünde. Die einzelnen Serpentinzüge sind von schmalen Streifen eingesäumt, die sich unter dem Mikroskop bei starker Vergrößerung als zahlreiche, überaus feine Serpentin- oder Asbestfasern von paralleler Lagerung entpuppen. Diese feinen Fasern werden als die Ausfüllung zarter Poren betrachtet, wie sie in den Wandungen vieler Foraminiferen auftreten, und diese Erscheinung wird als ein Hauptargument für die organische Natur des Eozoons angeführt. Zwischen je zwei Serpentinstreifen verläuft eine kompaktere Partie von Kalk, der keine zarten Fasern, wohl aber gröbere kanalartige Partien von Serpentin enthält, die entweder zwei der sogenannten Kammerreihen miteinander verbinden oder sich verzweigen und in dem Kalke blind endigen. Auch für diese Erscheinungen finden wir wenigstens teilweise Analogien bei den Foraminiferen, indem an manchen davon zwischen den porösen Teilen der Schale dichte, nur bisweilen von groben Kanälen durchsetzte Kalkpartien auftreten. Es würde sich demnach der Bau der Kammern des Eozoons nach dieser Auffassung ungefähr so darstellen, wie ihn die beiden obenstehenden Abbildungen zeigen.



Ein Stück-Eozoon, mit den Weichteilen restauriert. (Nach Dawson.) Stark vergrößert.

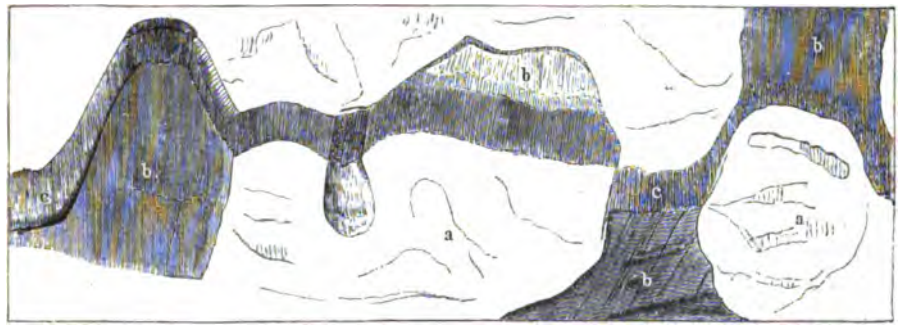
Obwohl diese Ansichten von sehr vielen Paläontologen angenommen wurden, stießen sie doch auch vielfach teils auf entschiedene Opposition, teils auf ablehnende Haltung und Unglauben.

Man ſuchte zu zeigen, daß kein Beweis für die organiſche Natur des Eozoons vorhanden ſei, ſondern daß man es mit einfachen Mineralausſcheidungen zu thun habe; namentlich Möbius erörterte unter Benutzung ſehr vollſtändigen Materials die Frage ſehr eingehend und kam zu dem Reſultat, daß in der That das Eozoon eine unorganiſche Bildung ſei. Er bewies, daß ſich daran nirgends die organiſchen Bildungen eigentümliche Regelmäßigkeit zeigt, und daß die angeblichen



Angebliche Kanäle von Eozoon, durch Salzſäure losgelöſt, ſtark vergrößert. (Nach Möbius.)

Kanäle, wenn ſie durch Salzſäure aus dem Geſtein befreit werden (ſ. obenſtehende Abbildung), keinerlei Ähnlichkeit mehr mit den Kanälen der Foraminiferen beſitzen und nicht rund, wie dieſe, ſondern flache, unregelmäßige Lamellen ſind. Ebenſowenig ſtimmt die Lage überein, denn während

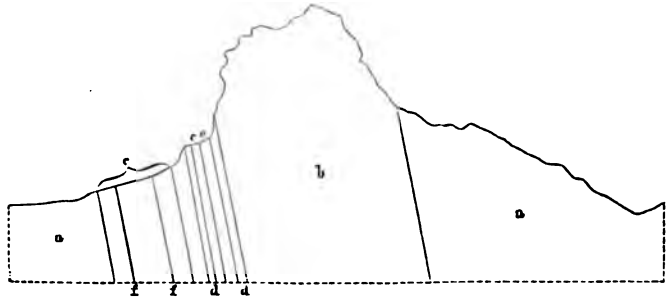


Dünnſchliff von Eozoon: a) Serpentin, b) Kalk, c) Faſerſtreifen. Stark vergrößert. (Nach Möbius.) Vgl. Text, S. 660.

bei allen Foraminiferen mit Kanalſyſtem dieſes in der Nähe der Keimkammer entſpringt und entweder in der Oberfläche der Schale mündet oder vorher noch ein Netzwerk bildet, ſind die Serpentinſtengel des Eozoons ohne jede Regelmäßigkeit zerſtreut. Ähnlich verhält es ſich mit der Faſerlage, die als den poröſen Zellwandungen entſprechend gedeutet worden war. Wäre dieſe Deutung richtig, ſo müßte jene Faſerlage der Hauptmaſſe nach aus Kalk beſtehen und runde Faſern des Silikats einſchließen; Möbius zeigt aber, daß ſie gar keinen Kalk enthält, ſondern aus lauter überaus feinen prismatiſchen Silikatfaſern zuſammengeſetzt iſt. Mit einer poröſen Zellwand iſt alſo nicht die geringſte Analogie vorhanden. Während ferner die Poren in den Wänden von Foraminiferen ſtets ſo geſtellt ſind, daß ſie auf kürzeſtem Wege von der Innenſeite der Kammer nach der Außenfläche reichen, nehmen die Eozoonfaſern die verſchiedenſten Richtungen gegen die

als Kammern geltenden Serpentinkörner an; sie stehen untereinander alle parallel, unbekümmert um die Lage der Serpentinkörner, statt sich ungefähr senkrecht zur Oberfläche dieser zu stellen (s. untere Abbildung, S. 659). Jedenfalls ist durch die Arbeiten von Möbius bewiesen, daß das Eozoon keine Foraminifere war; seine organische Natur ist in hohem Grade unwahrscheinlich, wenn auch manche kompetente Forscher sie als noch nicht definitiv widerlegt betrachten. Als Begleiter des Eozoons sind noch einige andere kleine Organismen aus den laurentinischen Ablagerungen genannt worden, die aber von jeher weniger beachtet wurden und keinesfalls mehr den Anspruch erheben dürfen, als solche anerkannt zu werden.

Wenn aber nun die tierische Natur des Eozoons und seiner Genossen nicht mehr behauptet werden kann, so ist damit die Existenz organischen Lebens in der archäischen Zeit noch nicht widerlegt. Im Gegenteil, wir können auf gewisse Verhältnisse hinweisen, die zwar keinen strengen Beweis für die Existenz organischen Lebens während der archäischen Periode bilden, aber doch nicht ganz unberücksichtigt bleiben können.



Profil durch die bituminösen Gneise und Glimmerschiefer von Nullaberg in Wermland, Schweden: a) Gneisgranit, b) Hyperit, c) bituminöser Gneis und Glimmerschiefer, d) bituminöser Glimmerschiefer, e) feinkörniger Gneis und Glimmerschiefer, f) dünne bituminöse Schichten. (Nach Igelström.)

Wie wir schon bemerkt haben, kommen in den kristallinischen Schiefern an sehr zahlreichen Punkten Einlagerungen von Graphit und kristallinischem Kalk vor. Bei Nullaberg in Wermland (Schweden) hat man mehr als 30 m mächtige Gneise und Glimmerschiefer gefunden, die ihrer ganzen Ausdehnung nach von schwarzen, bituminösen Substanzen durchdrungen sind (s. obenstehende Abbildung). Da wir nun alle Ursache haben, den Graphit als das Endglied der Bildungsreihe der Mineralkohlen anzusehen, eine Reihe, die vom Graphit durch Anthracit, Steinkohle und Braunkohle bis zu den Torfmooren der Jetztzeit führt; da Graphitlager in der Kohlenformation der Nordalpen, und zwar in pflanzenführenden, aber in kristallinische Schiefer umgewandelten Gesteinen vorkommen; da ferner alle mächtigeren Kalklager der nacharchäischen Perioden organischer Herkunft sind, und auch für das Bitumen organische Entstehung angenommen wird, so hat es eine gewisse Berechtigung, wenn wir aus diesen Vorkommnissen auf das Vorhandensein tierischen und pflanzlichen Lebens zur archäischen Zeit zurückschließen.

Zwingende Beweiskraft wohnt dieser Argumentation freilich nicht inne, denn es läßt sich dagegen einwenden, daß der Graphit auch in den Meteoriten nachgewiesen ist, die nicht die geringsten Spuren organischen Lebens erkennen lassen (s. S. 107), und die Kohlenwasserstoffe sowohl in den Meteoriten wie auch nach den Ergebnissen der Spektralanalyse in den Kometen und glühenden kosmischen Massen vorkommen (s. S. 104). Die Beihilfe organischer Wesen zur Bildung von Graphit und Bitumen ist also nicht durchaus nötig, wie man früher gemeint hat. Dagegen bereiten die Kalklager, wenn man von organischer Bildungsweise absehen will, größere Schwierigkeiten; man könnte nur sagen, daß unsere Kenntnis der urzeitlichen Zustände nicht ausreicht, die anorganische Entstehung der Kalke in Abrede zu stellen.

Wir verfügen aber noch über ein weiteres Beweismittel in dieser Richtung, und dieses hat die Deszendenzlehre vorgebracht: sie führt alle Tier- und Pflanzenformen auf wenige einfach

organisierte Stammtypen zurück, aus denen sich durch allmähliche Umänderung die Bevölkerung aller späteren Perioden entwickelt haben soll. Nun sind aber die ältesten Versteinerungen der kambrischen Zeit weit davon entfernt, diesen Voraussetzungen zu entsprechen, da man dort schon ziemlich hoch stehenden Krebstieren, Brachiopoden und anderen Tieren begegnet; es müssen daher noch vor der kambrischen Formation lange Zeiträume angenommen werden, in denen sich diese Typen aus einfachen, unseren jetzigen Protozoen entsprechenden Lebewesen entwickelt hätten. Dieser Vorgang könnte aber nur in der archäischen Periode stattgefunden haben, und wenn sich diese Annahme, zu der sich jeder Anhänger Darwins gezwungen sieht, auch als eine natürliche Konsequenz der Deszendenztheorie darstellt, so dürfen wir doch nicht vergessen, daß die Abstammungslehre selbst noch nicht allgemein als bewiesen angesehen wird, ja daß die Existenz archäischer Organismen eine wesentliche Bedingung ihrer Richtigkeit ist. Es wäre demnach ein großer Fehler, wollte man die eine Annahme durch die andere beweisen und dann noch einmal denselben Schluß umgekehrt anwenden.

Auf Grund aller dieser Verhältnisse können wir es zwar nicht als sicher erwiesen, aber als sehr wahrscheinlich betrachten, daß tierisches und pflanzliches Leben schon in altarchäischer Zeit bestanden haben.

Jüngere kristallinische Schiefer.

Kristallinische Schiefer, die der archäischen Periode angehören, treten gerade in Mittel- und Westeuropa sehr verbreitet auf, und da die geologische Betrachtung von hier ihren Ausgang genommen hat, so entwickelte sich ziemlich allgemein die Ansicht, daß *alle* kristallinischen Schiefer der archäischen Periode angehörten und älter seien als die Schichten der kambrischen Formation. Wohl ist eine große Menge von Fällen angeführt worden, in denen auch jüngere kristallinische Schiefer auftreten; aber noch immer blieben viele Geologen von der ersteren Ansicht so durchdrungen, daß sie alle diese Beobachtungen als irrtümlich betrachteten, ohne weitere Anhaltspunkte dafür zu haben, als daß die mitgeteilten Thatsachen mit ihren theoretischen Anschauungen nicht übereinstimmen. Erst seit den erfolgreichen Untersuchungen von H. Reusch an der Westküste des südlichen Norwegen gewinnt die Überzeugung von der Existenz *jüngerer* kristallinischer Schiefer mehr und mehr Raum. Wohl ist schon wiederholt behauptet worden, daß in Skandinavien große Massen kristallinischer Schiefer von kambrischem und silurischem Alter auftreten, aber erst dem genannten Forscher gelang es, in der Umgebung von Bergen in Gesteinen, die man früher für Urgebirge gehalten hatte, Versteinerungen, Trilobiten, Schnecken, Brachiopoden und Korallen (s. obenstehende Abbild.) aufzufinden und damit den untrüglichen Beweis zu liefern, daß die betreffenden kristallinischen Gesteine: Talkglimmerschiefer, Gneis, Thonglimmerschiefer, Quarzit und Marmor, silurischen Alters sind. Um die weiteren Konsequenzen solcher Vorkommnisse zu umgehen, wurde wiederholt erklärt, daß solche jüngere kristalline Schiefer mit den Bildungen des echten kambrischen Urgebirges in petrographischer Hinsicht wohl nicht übereinstimmen dürften. Aber dieser Ausweg ist bei dem Silur Norwegens unmöglich: es wurde erkannt, „daß auch die sorgfältigste petrographische Untersuchung

Schwanzschilder von Trilobiten aus dem Glimmerschiefer von Bergen in Norwegen. (Nach Reusch.)

dieser silurischen kristallinen Schiefer keinen Anhaltspunkt zur Unterscheidung derselben von genetisch gleichwertigen des eigentlichen Grundgebirges an die Hand gibt" (H. Rosenbusch).

Auch in den Ardennen, im Harz, im Taunus, im Thüringer Wald und in den Sudeten treten kristallinische Schiefer jüngeren Alters auf. Die im Taunus vorkommenden Gneise, Augitschiefer, Glimmerschiefer, Phyllite entsprechen ganz denjenigen archäischer Gebiete, werden aber durch halbkristallinische Gesteine mit normalen Sedimenten der devonischen Formation verknüpft und stehen mit diesen durch ihre Lagerung in so untrennbarer Verbindung, daß auch sie als gleichzeitig gebildet, als Sedimente der devonischen Zeit betrachtet werden müssen. Von besonderer Bedeutung ist dabei die Beobachtung, daß die kristallinische Ausbildung da am klarsten hervortritt, wo die Schichten sehr stark aufgerichtet und gestört sind, während die normaler gebauten und regelmäßiger gelagerten Teile des Gebirges vorwiegend den gewöhnlichen klastischen Gesteinscharakter besitzen, eine Beobachtung, die auch im südöstlichen Teile des Harzes und in den Ardennen gemacht worden ist.

In den Sudeten besteht das Unter- und Mitteldevon aus glimmerreichen Quarziten, feingefältelten Phylliten und körnigen Kalken von so ausgesprochen kristallinischer Beschaffenheit, daß man diese Schichten bis zur Auffindung von Versteinerungen für archäisch gehalten hat. Unter dem kristallinen Devon liegt grünlicher Chloritgneis und Schiefergneis, Gesteine, deren Zugehörigkeit zur archäischen Formation durch nichts erwiesen ist, und die ebensogut die Silurformation vertreten könnten.

Haben in den alten Rumpfgebirgen Nord- und Mitteleuropas in vielen Gebieten paläozoische Formationen den kristallinischen Charakter angenommen, so finden wir in den geologisch jungen Kettengebirgen auch mesozoische, ja selbst tertiäre Ablagerungen von dieser merkwürdigen Umwandlung ergriffen. Obwohl bei dem verwickelten Bau der Kettengebirge der Nachweis dieser Verhältnisse sehr schwierig ist, liegt doch schon eine Reihe sichergestellter Thatsachen vor: in den Ostalpen nimmt die Silurformation der Radstädter Tauern ein ausgesprochen kristallines Gefüge an, Gneis und Glimmerschiefer kommen dort zur Ausbildung. In noch größerer Verbreitung kennt man kristalline Bildungen im Verband der Kohlenformation. In den Nordostalpen liegen unzweifelhafte, zwar verzerrte, aber sonst sehr gut erhaltene Pflanzen der Kohlenperiode im Glimmerschiefer, Graphitschiefer und Quarzphyllit, und es stehen damit hochkristalline Gneise in Verbindung, während die Kohlenflöze in Graphit umgewandelt sind. In den Westalpen haben noch viel jüngere Ablagerungen, die sogenannten Bünder Schiefer, die nach ihren Versteinerungen dem Lias angehören, kristallinische Zusammensetzung angenommen und sind als Glimmerschiefer, Kalkphyllit, Marmor und Hornfels bestimmt worden. Gesteine der Permformation haben in demselben Gebiet in den Gegenden stärkster Dislokation das Aussehen von Gneis erhalten.

Weit ausgedehnt sind sehr junge kristallinische Gesteine in den Küstenländern des Griechischen Archipels. In Mittelgriechenland z. B. sind mächtige, dichte graue Kalke mit Versteinerungen der Kreideformation sehr verbreitet; sie stehen in enger Verbindung mit fast versteinerungsleeren Sandsteinen und Schieferthonen, die, Macigno genannt, mit verwandten Gebilden anderer mediterraner und alpiner Gebiete große Ähnlichkeit haben. Im östlichen Teile des Gebietes nehmen diese normalen Sedimente eine kristallinische Beschaffenheit an. Athen liegt ungefähr auf der Grenze zwischen den beiderlei Entwickelungsformen; die Gebirge im Westen sind rein sedimentär, das Lauriongebirge im Südosten ist kristallinisch, während die Gesteine, auf denen die Stadt steht, und die Hügel in ihrer nächsten Nähe teils normal, teils halbkristallinisch sind. In früher Vorzeit war über die halbkristallinischen Schiefer des Untergrundes der Niederung von Athen eine nicht sehr mächtige Decke von Kalken ausgebreitet, die jetzt zum größten Teil der Verwitterung anheimgefallen und nur noch in einzelnen Fetzen liegen geblieben ist. Diese Reste

bilden mit schroff aufragenden Wänden die Hügel der Stadt, die Akropolis (s. untenstehende Abbildung), den Areopag, die Pnyx, den Lykabettos ꝛc.; sie sind in einzelnen Partien dicht, in anderen ziemlich kristallinisch und enthalten an vielen Stellen Spuren von Kreideversteinerungen. Im Lauriongebirge dagegen wurden die Athener Schiefer kristallin umgewandelt: die grünen Thonschiefer wurden in dunkelgrüne, glänzende Chloritglimmerschiefer, die Mergel in Kalkglimmerschiefer, die grauen Kalksteine in weiße, grobkörnige Marmore umkristallisiert. Man hat die Existenz kristalliner Kreideablagerungen in Attika lebhaft bestritten, eine überaus eingehende Untersuchung Attikas hat jedoch im wesentlichen zu einer glänzenden Bestätigung der ursprünglich angefochtenen Thatsachen geführt.

Die Akropolis von Athen.

Ähnliche Beobachtungen liegen aus der Umgebung des Griechischen Archipels in Menge vor; sie fehlen auch nicht auf der italienischen Halbinsel. Das Vorkommen zwar sehr spärlicher, aber unzweifelhafter Versteinerungen beweist, daß die altberühmten Marmorlager von Carrara in den Apuanischen Alpen samt den sie begleitenden Sericit-, Chlorit- und Glimmerschiefern trotz ihrer kristallinischen Beschaffenheit der Triasformation angehören, während die gneisartigen Gesteine, die die Unterlage der Trias bilden, aus der Umwandlung von konglomeratischen Permbildungen hervorgegangen sind. Aber nicht nur in diesen Gebieten kommen kristalline Gesteine so jungen Alters vor, sondern auch in weit entlegenen Gegenden, in Birma, auf den Andamanen und Nikobaren, im Feuerland, in den südamerikanischen Anden, im kalifornischen Küstengebirge. Obwohl der Nachweis solcher Verhältnisse zu den schwierigeren Aufgaben geologischer Naturbeobachtung gehört, so kann doch die Thatsache, daß eine sehr große Menge von Forschern an den verschiedensten Punkten der Erde zu ähnlichen Resultaten gelangt ist, keinen Zweifel mehr darüber obwalten lassen, daß sich kristallinische Schiefer wirklich noch in verhältnismäßig jungen Ablagerungen vorfinden.

Entstehung der kristallinischen Schiefer.

Wir wissen sicher, daß sich in unserer Zeit am Boden des Meeres keine kristallinischen Schiefer absetzen, und können daher auch ihre Entstehung nicht als unmittelbares Produkt eines der jetzt noch thätigen Sedimentationsvorgänge ansehen. Werner hat zwar in der ersten Zeit der Entwickelung der Geologie die Ansicht ausgesprochen, daß Gneis und Glimmerschiefer unmittelbar aus dem Meer auskristallisiert seien, unter denselben Verhältnissen der Temperatur, wie sie jetzt herrschen; aber diese Anschauung ist längst verlassen. Es bleiben demnach nur zwei Möglichkeiten

übrig: entweder haben sich die kristallinischen Schiefer unter Verhältnissen, die heute nicht mehr existieren, unmittelbar gebildet, oder sie sind unter Umständen abgelagert, die den jetzigen entsprechen, haben aber später eine Umänderung erlitten. Beide Ansichten, die von einer ursprünglichen kristallinischen Ausbildung und die von einer späteren Metamorphose, haben zahlreiche Vertreter gefunden, und noch heute stehen sich die Parteien schroff gegenüber.

Wie wir oben gesehen haben, stimmen Gneis und Granit ihrer mineralogischen Zusammensetzung nach überein, und ersteres Gestein unterscheidet sich nur durch seine Schichtung und Schieferung von dem letzteren. Da ferner diese Gesteine oft eng verbunden sind, so lag es nahe, für beide denselben Ursprung und auch für den Gneis eine Bildung durch Erstarrung geschmolzener Massen vorauszusetzen. Aber nicht nur für die alten Gneise, sondern selbst für die Glimmerschiefer und die Thonglimmerschiefer bis an die Basis der kambrischen Formation wurde und wird noch vielfach angenommen, daß sie unmittelbar aus geschmolzenen Massen auskristallisiert seien, und daß sie die erste Erstarrungsrinde der Erde darstellen, die sich bildete, als die allmähliche Abkühlung unseres Planeten begann. Eine andere Ansicht knüpft an die im Vorhergehenden erwähnten Daubréeschen Versuche über die Wirkung von überhitztem Wasser an. Die leitenden Gesichtspunkte dieser Anschauung sind folgende: während sich die Erde in geschmolzenem Zustand befand, umgab alle Kohlensäure, die jetzt in Kalken und Dolomiten gebunden ist, und alles Wasser der Erde in Gasform als Atmosphäre den glühenden Ball; dazu gesellte sich noch eine weitere sehr bedeutende Menge von Kohlensäure, die dem in Steinkohlen und in den Organismen vorhandenen Kohlenstoff entspricht. Nach den großen Mengen dieser Substanzen dürfte man für jene Zeit etwa auf einen Luftdruck von 700—800 Atmosphären rechnen. Der Siedepunkt des Wassers und ebenso die Temperatur, bei der sich Wasserdampf verdichtet, ist insofern wesentlich von dem Atmosphärendruck abhängig, als mit der Steigerung des Druckes auch die Verdichtung des Wassers bei immer höherer Temperatur vor sich geht. Bei der angenommenen ursprünglichen Pression von etwa 800 Atmosphären würde sich stark überhitztes Wasser niedergeschlagen und, wie in Daubrées Versuchsröhren, auf die ursprüngliche Erstarrungsrinde lösend eingewirkt haben. Das Urmeer mußte sich in dieser Weise mit gelösten Silikaten sättigen, die dann bei fortschreitender Abkühlung allmählich auskristallisierten und so die archäische Formation der kristallinischen Schiefer bildeten.

Nach der ersteren Ansicht hätten wir uns die kristallinen Schiefer als ein Erstarrungsprodukt aus dem Schmelzfluß, nach der letzteren als einen chemischen Niederschlag nach Art von Steinsalz oder Gips vorzustellen. Die letztere Anschauung, die wir zuerst besprechen wollen, begegnet einer unüberwindlichen Schwierigkeit vor allem in der Struktur des Urgebirges, d. h. in der Art und Weise, wie die einzelnen Gemengteile zur Bildung des Ganzen zusammentreten. Die Struktur müßte eine gewisse Reihenfolge nach Löslichkeitsgraden oder nach anderen chemischen Beziehungen erkennen lassen. Dies ist aber nicht der Fall; was wir in Wirklichkeit an diesen Gesteinen wahrnehmen, ist ein millionenfacher Wechsel von Glimmer- und Quarzfeldspatlagen, und dieser kann unmöglich durch Kristallisation aus gelösten Silikatmassen entstanden sein. Aber nicht nur dieser Wechsel der feineren Schichten, auch die Wechsellagerung mächtiger Massen von Gneis, Glimmerschiefer, Chloritschiefer ꝛc. mit Kalk und Dolomit wird durch diese Theorie nicht erklärt. Es ist bekannt, daß sich die Zusammensetzung des Meerwassers im offenen Ozean über die ganze Erde gleichbleibt. Dies ist natürlich kein Zufall, sondern die Folge von Vorgängen, die sich nach unabänderlichen physikalischen Gesetzen vollziehen: die Diffusion, unterstützt durch Strömungen und Winde, bringt heute diese Wirkung hervor und mußte sie zu allen Zeiten hervorbringen, seitdem es überhaupt Meere gibt. Wenn diese also mit irgend einer mineralischen Substanz übersättigt waren, so mußte sie sich überall gleichmäßig ausscheiden, und eine andere

Substanz konnte nur auskristallisieren, wenn vorher die Zusammensetzung der gelösten Stoffe im ganzen Erdozean eine Änderung erfuhr. Die Bildung eines Kalklagers auf Gneis konnte auf diesem Wege nur eintreten, wenn das ganze Urmeer zuerst mit Silikaten, dann aber mit Kalkkarbonat übersättigt war. Derselbe Vorgang müßte sich in umgekehrter Ordnung wiederholen, wenn über dem Kalk Schiefer folgen. Eine weitere Schwierigkeit bereiten die zweifellos sichergestellten Konglomerate, die in verschiedenen Abteilungen der kristallinischen Schiefer eingeschaltet sind. Vollständig gerundete Gerölle, aus denen diese Konglomerate bestehen, können nur durch Herumrollen im Wasser entstanden sein, und auf dieselbe klastische Entstehung weist auch die Struktur der kristallinen Schiefer hin. Die Bestandteile dieser Schiefer sind durcheinander gemengt, miteinander verwachsen und so gegeneinander abgegrenzt, daß sich ihre Formen gegenseitig bedingen. Eine solche Struktur ist aber nur bei Gesteinen möglich, die ursprünglich als echte mechanische Sedimente im Wasser zum Absatz gelangt sind.

Können wir aus diesen Gründen dem chemischen Niederschlag aus überhitztem Wasser keine wesentliche Rolle bei der Bildung der archäischen Formation zuschreiben, so müssen wir, zum Teil aus denselben Gründen, auch die Hypothese ablehnen, die im gesamten Urgebirge einschließlich der kambrischen Formation die ursprüngliche Erstarrungskruste erblickt. Gesteine, die Konglomerate enthalten, ohne scharfe Grenze in gewöhnliche Sedimentärbildungen übergehen und die Struktur klastischer Absatzbildungen haben, können unmöglich aus dem Schmelzfluß entstanden sein. Diese Merkmale klastischer Bildungsweise sind aber vorzugsweise den oberen Partien des Urgebirges eigen; wenn wir von diesen absehen und nur das tiefste unserer Beobachtung zugängliche Fundament der kristallinen Schiefer berücksichtigen, so stellt sich das Verhältnis etwas anders dar.

Daß eine ursprüngliche Erstarrungskruste bestanden haben muß, ist sicher, denn ohne feste Kruste wäre die Bildung von Ozeanen, die Ablagerung der sedimentären Formationen und der Durchbruch von Eruptivmassen unmöglich gewesen. Was die erste Gesteinshülle der Erde betrifft, so ist sie wahrscheinlich an allen Punkten der Erde ziemlich gleichartig gewesen, und die ursprüngliche Erstarrungskruste hat wohl eine ähnliche Zusammensetzung und Struktur gehabt wie die ältesten und verbreitetsten Eruptivgesteine, die Granite, denn was zuerst in großen Massen durch diese Kruste emporquoll, mußte ihr stofflich nahe verwandt und unter ähnlichen Bedingungen erstarrt sein, wie sie selbst.

Diese beiden Forderungen, granitische oder granitähnliche Zusammensetzung und allgemeine Verbreitung, sehen wir in dem tiefsten, geologisch ältesten Teil der kristallinen Schiefer erfüllt. Überall, soweit unsere Forschungen reichen, treten Gneis und Granit als die Träger des ganzen Baugerüstes der Erdkruste hervor. Auch da, wo die alten Massen in großer Ausdehnung von jüngeren Bildungen bedeckt sind, bringen Eruptivgesteine Stücke von Granit und Gneis zu Tage, und so ist die Überzeugung wohlbegründet, daß das Urgebirge eine die ganze Erde umspannende Hülle bildet und daß man überall bei genügend tiefem Eindringen in die Erde auf kristallinische Schiefer stoßen würde. Die tiefsten Teile des Grundgebirges bestehen überall aus Gneis in enger Verbindung mit Granit, und immer ist, wie wir gesehen haben, die mineralische Zusammensetzung und selbst die Struktur bei diesen tiefstliegenden Gneisen und den durchbrechenden Graniten so ähnlich, daß es häufig schwer fällt, eine Trennung dieser Gesteine vorzunehmen.

Alles dies sind aber Verhältnisse, wie wir sie für die ursprüngliche Erstarrungskruste annehmen müssen, und so ist es in der That sehr wohl möglich, ja wahrscheinlich, daß der Fundamentalgneis und der damit verbundene Granit der Erstarrungskruste angehören.

Es besaß also, wie man sieht, die alte Anschauung, die die kristallinen Schiefer samt und sonders als Erstarrungskruste betrachtete, einen gesunden Kern; fehlerhaft war aber die

Zusammenfassung dieser überaus mächtigen und vielgestaltigen Gesteine zu einer genetischen Einheit und die Übertragung derjenigen Eigentümlichkeiten, welche nur dem tiefsten Fundament des Urgebirges zukommen, auf dessen Gesamtheit, namentlich auf die Schichten, deren Entstehung im Wasser aus den oben angegebenen Gründen zweifellos feststeht. Indem wir uns nun diesem letzteren Teile der kristallinischen Schiefer zuwenden, müssen wir zunächst an die schwierige Frage herantreten, welche Verhältnisse es wohl gewesen seien, die diesen Gesteinen das kristalline Gepräge verliehen haben. Es wurde die Ansicht ausgesprochen, daß die Umgestaltung des klastischen in kristallinisches Material unmittelbar nach dem Absatz, durch „Diagenese", erfolgt sei, während andere Anschauungen eine nachträgliche Umwandlung, „Metamorphose", annehmen.

Jedes Sediment erfährt unmittelbar nach seinem Absatz eine gewisse Veränderung, wie wir dies bei der Gesteinsbildung in den heutigen Meeren beobachten können; erst durch diese wird der lockere Bodensatz zum Gestein. Natürlich geht diese Diagenese unter ähnlichen Bedingungen, in demselben Medium vor sich, wie die eigentliche Sedimentierung, und stellt sich als deren unmittelbare Fortsetzung dar. Die Metamorphose dagegen ist eine viel spätere und unter ganz anderen Bedingungen eintretende Umwandlung der Gesteine. Die diagenetische Theorie nimmt an, daß die kristallinen Schiefer wohl als mechanische Sedimente abgelagert wurden, aber unmittelbar danach unter Einwirkung von Verhältnissen, die nur dem Urmeer eigen waren, kristallinische Beschaffenheit annahmen. Hoher Atmosphärendruck, hohe Temperatur und ein erhöhtes Lösungsvermögen des Urmeeres sollen bewirkt haben, daß die vom Festland zugeführten mechanischen Niederschläge und vielleicht auch die vulkanischen Tuffe jener uralten Zeiten bald in einen kristallinischen Zustand übergeführt wurden. Mit der allmählichen Abnahme der hohen Temperatur, des hohen Atmosphärendrucks und der gesteigerten Lösungsfähigkeit des Urmeeres wurden die Verhältnisse den heutigen ähnlicher und die Bedingungen für die kristalline Diagenese immer ungünstiger; der kristalline Charakter der Gesteine wurde endlich völlig verdrängt.

Offenbar ist diese Hypothese nahe verwandt mit der schon besprochenen des ursprünglich kristallinen Niederschlags aus überhitztem Wasser, aber sie ist ihr insofern überlegen, als sie den ursprünglich sedimentären Absatz annimmt. Sie erklärt ganz gut die allgemein beobachtete Abnahme des kristallinen Charakters in den höheren und geologisch jüngeren Partien des kristallinischen Gebirges; was sie aber durchaus nicht verständlich zu machen vermag, ist die kristalline Beschaffenheit vieler geologisch junger und fossilführender Formationen, die sich ohne Zweifel in Meeren von der heutigen Beschaffenheit und Temperatur gebildet haben. Es kann also gesteigerte Lösungsfähigkeit und die Thätigkeit heißen Wassers und hohen Druckes während der Ablagerung keineswegs als eine notwendige Bedingung für die Entstehung kristalliner Felsarten betrachtet werden, und man muß daher auch die Frage aufwerfen, ob denn unter diesen Verhältnissen eine Nötigung vorliegt, diese Faktoren für die archäische Zeit in Anspruch zu nehmen. Zu dieser Frage ist man um so mehr berechtigt, als die Theorie der Diagenese auf der unerwiesenen, wenngleich möglichen Voraussetzung beruht, daß die Atmosphäre und das Urmeer der archäischen Zeit mit Kohlensäure, Chlor ꝛc. geschwängert waren. Wahrscheinlicher ist es, daß die genannten Gase vom glühenden Magma des Erdballs absorbiert waren, denn, wie wir gesehen haben, besitzen geschmolzene Massen in hohem Grade die Fähigkeit, Gase aufzunehmen. Indessen ist es doch nicht ausgeschlossen, daß in jenen dunkeln Übergangszeiten, die von der Bildung der ersten Erstarrungskruste zur späteren archäischen Periode führten, in der That ähnliche Verhältnisse geherrscht haben, wie sie die diagenetische Lehre fordert, und so werden wir auch die Möglichkeit zugeben müssen, daß die kristallinischen Schiefer, die über dem fundamentalen Gneis und Granit der Erstarrungskruste aufruhen, Sedimente enthalten könnten, deren Umkristallisierung auf dem Wege der Diagenese vor sich gegangen ist. Für die Hauptmasse der kristallinischen Schiefer, vor

allen für die verſteinerungsführenden und daher in normalen Meeren abgelagerten, müſſen wir aber nach einer anderen Erklärung ſuchen, und dieſe kann nach dem oben Mitgeteilten nur in einer Art von Metamorphoſe beſtehen.

Die Lehre vom Metamorphismus der kriſtalliniſchen Schiefer iſt ſehr alt; ſie geht auf den ſchottiſchen Geologen Hutton zurück, und ſeit ſeiner Zeit ſind zahlreiche Varianten dieſer Lehre aufgeſtellt worden, von denen wir hier nur die wichtigſten kurz beſprechen können.

In erſter Linie nahm man die Einwirkung von Druck und Wärme als Urſache der Veränderung an, wofür namentlich das Auftreten der ſchon erwähnten Kontaktmetamorphoſen Anhaltspunkte lieferte. Wo geſchichtete Geſteine oder ſchwach kriſtalliniſche Schiefer von eruptiven Maſſen durchbrochen werden, nehmen ſie an der Berührungsſtelle und oft auch noch auf weite Entfernungen davon ein hochkriſtalliniſches Gefüge an. Dieſe Beobachtung verallgemeinerte man dahin, daß überhaupt alle kriſtalliniſchen Schiefer ihre Struktur dieſen Faktoren verdanken ſollten. Hutton nahm an, daß alle Geſteine, die ſich im Meer gebildet haben, auch Sandſteine und dichte Kalke, nur durch die Wirkung der inneren Erdwärme, durch „plutoniſche" Thätigkeit, feſt werden können; er ſah auch in den kriſtalliniſchen Schiefern urſprünglich normale Sedimente, die durch die Glut der Tiefe ihre jetzige Ausbildung erhalten haben. Bald überzeugte man ſich jedoch, daß Hitze allein zur Erklärung all dieſer Veränderungen nicht ausreiche, und nahm außer ihr die Einwirkung von heißen Dämpfen oder von Waſſer und Mineralläſungen zu Hilfe.

Wie wir früher geſehen haben, findet von der Erdoberfläche gegen die Tiefe zu eine ſtetige Temperaturzunahme ſtatt und zwar für je 33 m etwa um 1° C. (ſ. S. 118). Wenn ſich nun außerordentlich mächtige Maſſen von Ablagerungen bilden, ſo werden, worauf zuerſt Babbage hingewieſen hat, ihre tiefſten Teile allmählich einer ziemlich hohen Temperatur ausgeſetzt. Iſt die Dicke eines horizontal gelagerten Schichtenſyſtems 12,000 m, ſo herrſcht an deſſen Baſis eine Temperatur von etwa 364°, die in Verbindung mit dem Druck der auflaſtenden höheren Schichten das Waſſer, das ja jedes Geſtein durchdringt, in überhitzten Zuſtand verſetzen muß. Nach allen Erfahrungen, die man über die Wirkung überhitzten Waſſers gemacht hat, müſſen wir auch annehmen, daß unter ſolchen Verhältniſſen die Bildung kriſtalliniſcher Elemente vor ſich gehen könne, daß alſo vielleicht auch kriſtalliniſche Schiefer aus normalen Sedimenten auf dieſem Wege entſtehen können. Auch wenn wir von der Erdwärme ganz abſehen, muß die Belaſtung mit einer mächtigen Sedimentdecke die Erhitzung des Waſſers in den tieferen Partien zur Folge haben, da der Druck in Wärme umgeſetzt wird. Trotz dieſes Zugeſtändniſſes ergibt aber eine eingehendere Prüfung, daß dieſer Prozeß nicht ausreicht, die Bildung aller kriſtalliniſchen Schiefer zu erklären. Man hat bisher angenommen, daß archäiſche Ablagerungen von der oben genannten Mächtigkeit konkordant aufeinander geſchichtet vorkommen, aber es ſtellt ſich durch neuere Unterſuchungen immer mehr heraus, daß auch in der archäiſchen Zeit wiederholt Unterbrechungen der Ablagerung eingetreten ſind, und daher die große, den kriſtallinen Schiefern zugeſchriebene Mächtigkeit nicht ausſchließlich auf Über-, ſondern teilweiſe auch auf Nebenlagerung zurückzuführen ſei. Ferner kennen wir ſedimentäre Schichtfolgen von außerordentlich großer Mächtigkeit, ohne daß deren Baſis eine Umwandlung in kriſtalline Geſteine erkennen ließe, und umgekehrt gibt es in jüngeren Formationen Schiefer, die kriſtalliniſch wurden trotz ſehr wenig mächtiger Überlagerung. Daß die Belaſtung mit aufruhenden Geſteinen nicht immer eine notwendige Vorausſetzung der Metamorphoſe iſt, ergibt ſich aus dem Umſtand, daß das Kambrium Konglomerate aus kriſtallinen Geröllen einſchließt. Es mußten alſo die archäiſchen Schiefer ſchon vor Ablagerung des Kambriums die kriſtalline Beſchaffenheit angenommen haben. Wir müſſen alſo jedenfalls noch nach anderen Urſachen ſuchen, die denſelben Erfolg hervorbringen konnten.

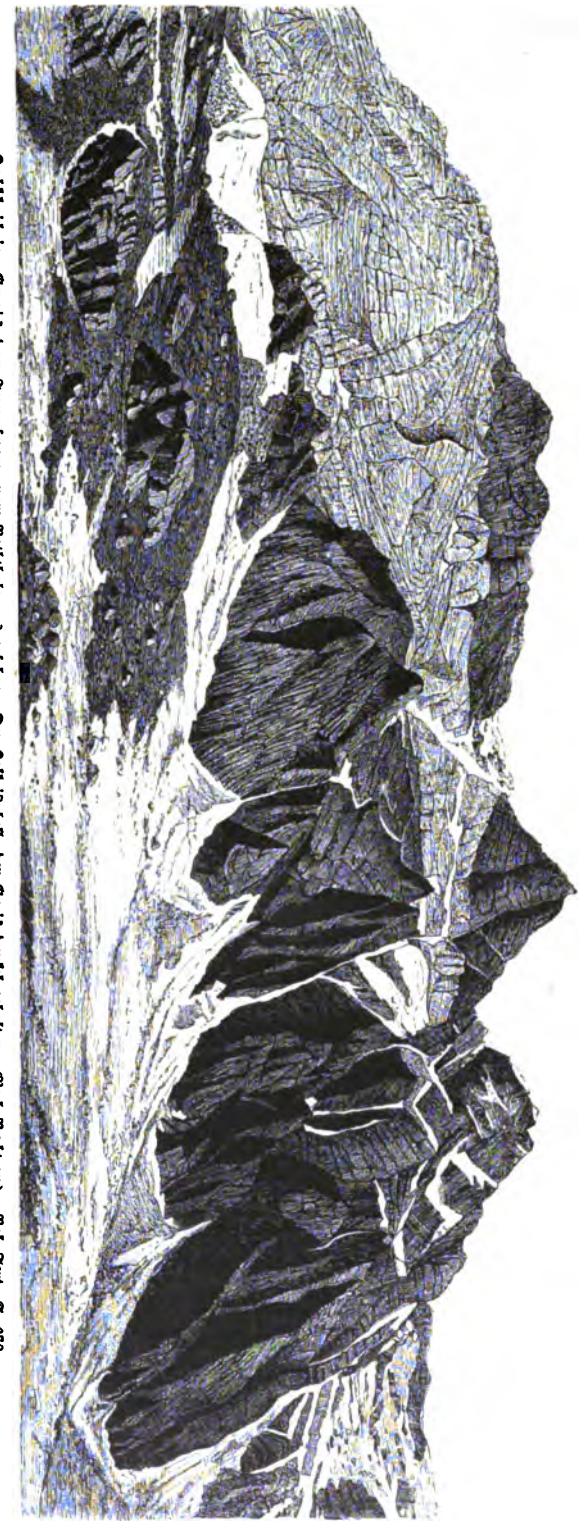
Im Gegensatz zu diesen Anschauungen, die eine hohe Temperatur und Druck in erster Linie als unerläßliche Bedingungen für die Bildung kristallinischer Schiefer betrachten, hat G. Bischoff die Ursache dieses Vorganges lediglich in der Wirkung des in den Gesteinen zirkulierenden Wassers bei gewöhnlicher Temperatur und ohne hohen Druck gesucht. Er nahm an, daß das sickernde Wasser auf seinem Wege durch die Sedimentmassen Bestandteile gelöst mitbringe und gegen andere austausche, so daß auf diese Weise eine Umwandlung mit Substanzänderung eintreten würde. Vom chemischen Standpunkt aus muß die Möglichkeit solcher Vorgänge unbedingt zugegeben werden; da Kristalle von allen die Schiefer zusammensetzenden Mineralen in der Natur unter Verhältnissen vorkommen, die beweisen, daß sie bei gewöhnlicher Temperatur aus Wasser gebildet sind, so können sich auch z. B. aus Thonen alle Minerale des Gneises entwickeln. Für diese Umwandlungen, namentlich für diejenige des Kalkes in ein aus Feldspat, Quarz, Glimmer ꝛc. bestehendes Gestein, sprechen namentlich die sogenannten Pseudomorphosen oder Afterkristalle, wie man veränderte Vorkommnisse kristallisierter Minerale nennt, die zwar ihre äußere Form beibehalten, aber infolge eines chemischen Vorganges einige Bestandteile oder auch deren Gesamtheit verloren und andere dafür aufgenommen haben. So kann z. B. kristallisiertes Schwefeleisen (Schwefelkies) seinen Schwefel verlieren, dafür Sauerstoff und Wasser aufnehmen und sich dadurch in Brauneisenstein (Eisenoxydhydrat) umwandeln, ohne daß dabei die Kristallform des Schwefelkieses verloren ginge. Man hat auch Pseudomorphosen gefunden, die ganz die Kristallform des Kalkspates zeigen, von seiner Zusammensetzung aber nichts mehr enthalten; der kohlensaure Kalk ist ganz durch Quarz oder durch Feldspat verdrängt worden, der aus Kieselsäure, Thonerde und Kali besteht.

Ob sich aber solche mögliche Vorgänge in der Natur wirklich in so gewaltigem Maße abgespielt haben, daß ihnen die Bildung der ungeheuern Massen der archäischen Schichtsysteme zugeschrieben werden kann, darüber müssen andere Erwägungen entscheiden, und hier treffen die besprochenen Hypothesen auf unüberwindliche Schwierigkeiten. Wenn das Wasser ohne Beihilfe von Druck und Wärme diese Wirkung hervorbrachte, wie können dann Thone der kambrischen Formation vorkommen, die in vielen Millionen Jahren nicht die geringste Änderung erlitten haben? Vor allem widerlegt ein Einwurf vollständig eine solche Annahme: in den Systemen der kristallinischen Schiefer sind chemisch verschieden zusammengesetzte Materialien streng nach Schichten voneinander gesondert. Wären bedeutende Substanzänderungen während der Ausbildung zu kristallinischen Schiefern eingetreten, so müßten sie ganz unabhängig von den Schichtflächen sein, und man würde namentlich längs senkrechter Klüfte, in denen das Wasser zirkuliert, die stärksten Umänderungen zu beobachten haben. Davon ist aber nichts zu bemerken; eine Schicht Glimmerschiefer liegt z. B. scharf abgegrenzt auf eine weite Strecke einer Kalkschicht aufgelagert, ohne daß ein Umtausch von Bestandteilen bemerkbar wäre. Mit solchen Verhältnissen ist die Hypothese von einer wässerigen Umkristallisierung der Schiefergesteine ohne Mitwirkung von hohem Druck unvereinbar.

Haben die älteren Erklärungsversuche, die wir bisher besprochen haben, hauptsächlich von den großen archäischen Gneis- und Glimmerschiefergebieten ihren Ausgang genommen, in denen das Rätsel in seiner schwierigsten Gestalt erscheint, so hat man in neuerer Zeit einen näherliegenderen und verheißungsvolleren Weg betreten: man hat sich hauptsächlich den metamorphen Erscheinungen der jüngeren Formationen zugewendet, und da haben sich denn auch sehr bald wichtige Aufschlüsse ergeben.

Zuerst war es Lossen, der in dieser Beziehung neue Gesichtspunkte aufstellte. Bei der Untersuchung der oben erwähnten kristallinischen Schiefer der devonischen Formation im Taunus

machte er die Beobachtung, daß sie besonders da ausgezeichnet entwickelt sind, wo die Lagerung stark gestört ist, wo also mechanische Druckkräfte besonders intensiv auf sie einwirkten, daß dagegen da, wo dies weniger der Fall war, der klastische Charakter vorwiegt. Es konnte ferner nachgewiesen werden, daß in Spalten, deren Entstehung erst mit der Aufrichtung der Schichten Hand in Hand ging, ganz dieselben Mineralausscheidungen stattfinden wie innerhalb einzelner den Schichtflächen paralleler Lagen. Diese Mineralausscheidungen stehen mit der Bildung der kristallinischen Struktur überhaupt in innigem Zusammenhang, und es folgt daraus, daß diese Struktur ebenfalls erst gleichzeitig mit der Aufrichtung der Schichten und durch die Wirkung des dabei stattfindenden Druckes entstanden ist. Lossen kommt zu dem Resultat, „daß die kristallinischen Schiefer des Taunus infolge der gebirgsbildenden Ursache auf wässerigem Wege umkristallisierte Sedimente darstellen", und schreibt die Hauptwirkung dem Druck sowie der durch ihn erzeugten Wärme zu, eine Erklärung, die auch auf andere analoge Gesteine ausgedehnt wird. Zu ähnlichen Ergebnissen ist man beim Studium gewisser Marmorvorkommnisse im Berner Oberland gekommen. Es war seit langem bekannt, daß die dichten „Hochgebirgskalke" des oberen Jura dort stellenweise kristallinisch werden; namentlich an einigen Punkten, wo sie mit Gneis zusammenstoßen, ist dies der Fall. Es wurde früher angenommen, daß hier eine Art von Kontaktmetamorphose vorliege; allein es hat sich gezeigt, daß diese Erscheinung auch fern vom Gneis auftritt, an Punkten, an denen der Kalk sehr starken Biegungen und



Kalkfelt im Gneis der Jungfrau, vom Rothhale aus gesehen. Der Kalk ist hell, der Gneis dunkel gehalten. (Nach Baltzer.) Vgl. Text, S. 670.

Störungen ausgesetzt war, und daß anderseits auch an der Gneisgrenze die Marmorisierung des Kalkes nur da stattfindet, wo das Aneinanderstoßen beider Gesteine von außerordentlich intensiven Faltungen begleitet ist. Dort finden sich sehr komplizierte Lagerungs-Verhältnisse, derart, daß Gneis und Kalk fingerförmig ineinander eingreifen und sogenannte Keile bilden, wie sie die Abbildung auf S. 669 darstellt; diese Erscheinung, von der schon ausführlich die Rede war (s. S. 349), stellt einen sehr verwickelten Fall der Gebirgsfaltung dar, und gerade da, wo diese ihr Maximum erreicht, in der Spitze der Keile, ist der Kalk besonders kristallinisch entwickelt. Diese Beobachtung hat auch hier zu dem Schluß geführt, daß der Druck, der bei der Gebirgsbildung und der Faltung auf das Gesteinsmaterial einwirkte, dessen kristallinische Ausbildung bewirkt habe. In ähnlicher Weise ist durch Gosselet in den Ardennen festgestellt worden, daß sich die metamorphen Umwandlungen hauptsächlich in den Regionen der stärksten Dislokation bemerkbar machen, und zwar in den Antiklinalzonen als Folge der stattgefundenen Dehnung und Biegung des Materials, im Innern steiler, zusammengepreßter Mulden, ferner längs größerer Verwerfungen, an denen Reibung und Zermalmung der Gesteine eingetreten ist, und endlich an den Berührungsstellen sonst diskordanter, aber durch die Faltung eng aneinander geschobener Schichtgruppen. In Nordschottland ist in der Region der großen Überschiebung der dislozierte Teil des Silurs und Kambriums kristallin geworden und liegt über normalem, fossilführendem Silur (s. S. 348 und 368). Dasselbe ist auch anderwärts beobachtet worden, und man kann sagen, daß kristallinische Schiefer in ungestörter Lagerung überhaupt nicht vorkommen: eine für das Verständnis dieser Gesteine überaus wichtige Thatsache.

In vielen Fällen hängt also der kristalline Charakter der Gesteine unverkennbar von dem Grade der Dislokation, der Faltung und Stauung oder allgemein des Druckes ab, dem ein Schichtsystem ausgesetzt war. In richtiger Würdigung dieser Erkenntnis hat man die hierhergehörigen Umwandlungsvorgänge als Dislokations-, Stauungs- oder Dynamo-Metamorphismus bezeichnet. Diesen Veränderungen, durch die Sandstein, Konglomerat und Schiefer zu Gneis, Glimmerschiefer und Phyllit, Kalkstein zu Marmor, Kohlenflöze zu Anthracit und Graphit werden, unterliegen auch die ein Schichtsystem durchbrechenden Eruptivgesteine; so gehen in dynamometamorphen Gebieten aus Diabas: Chlorit- und Hornblendeschiefer, aus Granit: gneisartige Schiefer hervor.

Der Zusammenhang zwischen Druck und Gefüge nimmt bei den kristallinischen Gesteinen die extremste Form an, er läßt sich aber auch bei offenbar klastischen Bildungen nachweisen. Wo der Schichtenbau wenig gestört und überdies die Menge der überlagernden Sedimente gering ist, haben sich z. B. Thone ganz in der ursprünglichen Form erhalten, selbst wenn sie den ältesten Ablagerungen angehören.

Beispiele hierfür sind nicht eben selten; weitaus das bekannteste und bezeichnendste unter ihnen bilden die so oft citierten kambrischen Thone, die in der Umgebung von Petersburg das älteste Glied der paläozoischen Schichtreihe sind und sich in ursprünglicher, horizontaler Lage befinden. Anderseits enthalten selbst die jungen Ablagerungen der Tertiärzeit plastische Thone nur da, wo sie keinen starken Faltungen ausgesetzt gewesen sind; wo sie solche erlitten haben, erscheinen an Stelle der Thone stets Schieferthone, ja sogar Thonschiefer. Diese letzteren kommen in gestörtem Gebirge in allen Formationen bis hinauf zum mittleren Tertiär vor, wenn sie auch in den älteren Ablagerungen am häufigsten sind. Es gibt plastische Thone von kambrischem, Thonschiefer von tertiärem Alter, und das Vorkommen dieser verschiedenen Gesteinsmodifikationen wird von den tektonischen Verhältnissen wesentlich beeinflußt.

So massenhaft ist das Beweismaterial für den Zusammenhang metamorphischer Erscheinungen mit dem Gebirgsdruck, daß diese Anschauung immer mehr an Boden gewinnt, besonders

seitdem W. Spring durch seine interessanten Versuche den eminenten Einfluß hohen Druckes auf die Erzeugung kristallinischer Struktur nachgewiesen hat. Diese Versuche scheinen auch für die Frage von Bedeutung zu sein, ob der Druck für sich allein genügt, die Veränderungen der Gesteine hervorzurufen, oder ob hierbei auch noch andere Verhältnisse, namentlich die durch den Druck bewirkte Erhitzung des Wassers, mitwirken. So ist es Spring zwar gelungen, aus einem Gemenge von Kupfer und Schwefel unter sehr hohem Druck kristallinen Kupferglanz und aus einem Gemenge verschiedener Metalle eine kristalline Masse herzustellen (s. S. 350); dagegen konnten weder Pulver von Kreide noch Kalkspatstückchen unter einem Druck von 5—6000 Atmosphären zu einer festen Masse vereinigt werden, und ebensowenig Quarzsand, selbst bei dem enormen Druck von 20,000 Atmosphären.

Dies scheint darauf hinzudeuten, daß in Fällen, wo rein mechanische Wirkungen, wie Schieferung oder Mikrobreccienstruktur (s. S. 350), vorliegen, oder wo die chemische Natur der Minerale keine Veränderung erfahren hat, die beobachtete Umwandlung lediglich durch einfachen Druck und die dadurch bewirkte Näherung und Umlagerung der Moleküle erfolgt ist. Wo dagegen eine chemische Änderung der einzelnen Bestandteile eingetreten ist, muß eine Zufuhr oder Wegnahme von Substanz stattgefunden haben, und dies kann in Gesteinen nur durch überhitztes Wasser als Träger der Stoffe geschehen, denn der Druck, mag er auch noch so groß sein, kann stets nur die Moleküle einander nähern, niemals aber einen Austausch der Stoffe unmittelbar herbeiführen. Die Annahme, daß dem durch Druck erhitzten Wasser eine Bedeutung als Mineralbildner zuzuschreiben sei, wird auch durch den Umstand unterstützt, daß dynamometamorphe Gesteine in vielen Fällen mit kontaktmetamorphen Bildungen eine unverkennbare Ähnlichkeit haben, denn die Umgestaltung der letzteren wird ja im wesentlichen auch auf die Wirkung des überhitzten Wassers der Eruptivmassen zurückgeführt. Hier eröffnet sich der experimentellen wie der beobachtenden Forschung ein weites Feld, und es wird noch sehr langwieriger und schwieriger Untersuchungen bedürfen, bis über die näheren Vorgänge der Dynamometamorphose genügendes Licht verbreitet sein wird.

Ebenso ist nicht zu verkennen, daß die in ihren Grundzügen gewiß richtige und bedeutungsvolle Theorie der Dynamometarmophose noch andere Schwierigkeiten zu beseitigen und gewisse sehr merkwürdige Verhältnisse aufzuklären haben wird, so vor allen das Vorkommen von nicht veränderten, echt klastischen Sedimenten, die von jüngeren kristallinischen Bildungen überlagert werden, sowie die Wechsellagerung klastischer und kristallinischer Schiefer. Solche Gebilde sind allerdings nicht häufig; immerhin kann das wenn auch seltene Vorkommen solcher Erscheinungen nicht in Abrede gestellt werden. Nicht immer ist starke Dislokation von Umkristallisierung begleitet. Trotz gewaltsamster Faltungen haben viele Gebiete ihren ursprünglichen Charakter bewahrt, und umgekehrt gibt es metamorphe Regionen, wo die Faltung sehr sanft war, wie z. B. im kristallinen Kreidegebiet Griechenlands. Die Ursachen dieser Verschiedenheit sind bisher nicht bekannt, wir können aber hoffen, daß die eingehende Untersuchung aller Einzelfälle bald neues Licht darüber verbreiten werde. Nehmen wir aber auch an, daß genauere Studien in dieser Richtung noch keine Aufklärung brächten, so bliebe doch diese große Schwierigkeit auch für jede andere Hypothese gleich rätselhaft; es würde darum keiner der anderen Erklärungsversuche, für deren jeden die Erscheinung vorläufig gleich unverständlich ist, auch nur im geringsten wahrscheinlicher werden.

Bei der Verallgemeinerung der hier erhaltenen Resultate, die wesentlich von den jüngeren Vorkommnissen ausgehen, müssen wir berücksichtigen, daß die Übertragung auf die älteren kristallinischen Schiefer auf einem Analogieschluß beruht, der natürlich an Beweiskraft verliert, je weiter wir uns von dem Ausgangspunkt entfernen, und je älteren archäischen Bildungen wir uns zuwenden. In der That konnten wir es als wahrscheinlich bezeichnen, daß der geologisch älteste

Teil des Urgebirges nach Zusammensetzung und Struktur wesentlich anders aufzufassen ist als der jüngere. Nur der letztere zeigt, ähnlich wie die kristallinen Schichten der fossilführenden Formationen, Verhältnisse, die mit keiner Annahme besser in Einklang zu bringen sind als mit der Theorie der Dynamometamorphose.

Eine lange und eingehende Betrachtung und die Prüfung sehr verschiedener Hypothesen war notwendig, um eine wahrscheinliche Ansicht über die Bildung der kristallinischen Schiefer zu gewinnen. Die Aufschlüsse, die wir dadurch erhalten, ermöglichen eine wenigstens annähernde Vorstellung über den Zustand der Erde in den fernen Urzeiten, die dem Auftreten der ersten uns genau bekannten Tier- und Pflanzenformen vorausgehen. Wir sehen, daß die ältesten Gesteine, die uns an der Oberfläche der Erde begegnen, der Fundamentalgneis und der ihn begleitende Granit, wahrscheinlich als Reste der ursprünglichen Erstarrungskruste zu betrachten sind. Was an Zersetzungs- und Abwaschungsprodukten von der Erstarrungskruste abgetragen und in das archäische Urmeer geführt wurde, mochte dort zunächst in heißem Wasser zum Absatz gelangt und durch Diagenese verändert worden sein. Natürlich mußten, wenn diese Vorstellung richtig ist, anfangs Gesteine entstehen, die vom eigentlichen Fundament nicht wesentlich verschieden sein konnten. Daher mag es kommen, daß wir jetzt nicht im stande sind, die ursprüngliche Erstarrungskruste von ihrem ersten Sedimentmantel zu unterscheiden. In der Folgezeit bildete sich die außerordentlich mächtige und vielgestaltige Reihe der jüngeren kristallinen Schiefer, die nach oben zu immer mehr an kristallinem Charakter verlieren, um immer mehr ein klastisches Gepräge zu gewinnen. Immer deutlicher tritt die Wirkung bewegten Wassers an der wiederholten Einschaltung von Geschiebelagen hervor, da und dort nachgewiesene Unterbrechungen der Schichtfolge deuten auf Verschiebungen der Strandlinie hin, in dem Vorkommen von Graphit- und Kalklagern finden wir Anhaltspunkte, die auf die Existenz von Pflanzen und Tieren schließen lassen; aber von diesen ersten Organismen haben die durch Druck entstellten Schichten keine Überlieferung aufbewahrt. Nur die außerordentliche Mächtigkeit der angehäuften Sedimente und die hohe Organisation der ersten uns bekannten Tierreste läßt uns vermuten, daß eine Zeitdauer von unfaßbarer Länge von der Entstehung der Erstarrungskruste bis zum Schluß der archäischen Periode verflossen sein muß.

So eröffnet sich uns eine Aussicht in unabsehbare Fernen der Vorzeit, in denen sich der Blick allmählich verliert. Nicht eine scharfe Grenze scheidet für unser Erkennen die Periode der Organismen von der spätarchäischen Formation, sondern soweit wir vorzudringen vermögen in das Verständnis jener entlegenen Zeiten, werden wir auf Zustände geführt, die den jetzigen ähnlich sind. Dann aber gelangen wir angesichts der fundamentalen Gesteine der Erdkruste zu einer Urzeit, in der unserer Vorstellung schwer faßbare Vorgänge sich abspielten.

Register.

Aa 156. 202. 263.
Aargletscher 542. 551. 555.
Abajo, Pic 4. 5.
Abbrüche, in der Tertiärzeit 368.
Abeilat 220.
Abessinien 221. 269.
Abflußlose Gebiete 589. 601.
Ablagerungen aus fließendem Wasser 522 u. ff.
— — im Unterlauf der Flüsse 478.
Ablation 545.
Abplattung der Erde 112—114.
Abrasion 385. 535. 536.
Absätze, kalkige u. kieselige 414. 605.
Absatzgesteine 4. 6. 31. 592. 594.
Absinken von Schollen an Brüchen 370.
Abteithal 50.
Abtragung, jährliche, im Wassergebiet der Flüsse 587. 588.
Acatenango 252.
Achaja 308. 310.
Achat 605.
Achensee 482. 564.
Aconcagua 256. 340.
Acqua Acetosa 182.
Adda 490.
Adelsberger Grotte 504.
Aden 220.
Adler (Sternbild) 60. 68.
Aërolithen 91.
Afar 220. 221.
Afiun-Kara-Hissar 219.
Afterkristalle 668.
Agassi-See 411.
Agde 211.
Agina 215.
Agion 310.
Agmangan 219.
Agnaner See 137. 172.
Ahagargebirge 424. 576. 584.
Aigetta 574.
Aiguilles Rouges 363. 496.
Airolo 120.
Ajusco 248. 280.
Akabah-Busen 601.
Akahanijama 239.
Ak-Dschar 308.
Akropolis 663.
Aktäonellen 49.
Alakul 220.
Alaska 195. 243. 396.
Albanergebirge 180. 182. 296.
Albaner-See 180.
Albert Edward-See 221. 376. 489.
Albert-See 221. 376. 489.
Alborán-Insel 392.
Alcyonen 614.
Aldebaran 68.
Aletschgletscher 540. 541.
Aleuten 195. 242. 396.
Alexander-Inseln 267.
Alexandria 110.
Algen 36. 605.
Algerien 423.
Alicudi 190.
Allauch 348.
Alleghanies 395.
Almeria 214.
Alpen 10. 277. 340. 353. 355. 357 u. ff. 414.
— Bau 357 u. ff.
— Brüche 359. 360.
— Flyschzone 362.
— geologische Geschichte 362.
— Leitlinien 360.
— Mächtigkeit und Vollständigkeit der Formationen 365.
— mitteldeutsche 367.
— Virgation der 361.
— Vorland 365.
— vorpermische 366.
Alpersbach 368.
Alpes maritimes 473.
Altai 395. 552.
Alte Massen 500.
Altenfjord 410.
Altlengbach 390.
Altmühldurchbruch 496.
Alt-Tschaman 323.
Altvater 367.
Aluminium 67. 103.
Aluta 492.
Alveolinen 624.
Amagi 242.
Amagura 266.
Amalfi 136.
Amberger Spalte 371.
Ammersee 565.
Ammoniten 32. 631.
Ammonitenkalke 414. 415. 631.
Ammonitiden 36. 40. 43. 45. 49.
Ammonsoase 576.
Amorphes Glas 642.
Amorphe Substanzen 641.
Amphibien 38. 40. 44. 45.
Amphissa 289. 290.
Amsterdam, Insel 158. 177. 179. 222. 223.
Amur 117. 600.
Anauchytiden 44. 48. 49.
Ancile 93.
Andamanen 223. 663.
Anden 10. 253. 395. 552. 663.
Andermatt 121.
Andesit 163. 651.
Andromeda 70. 79.
Andros 372.
Anehijima 238.
Angata Nairogna 376.
Anguri 466.
Anhydrit 448. 596 u. ff.
Anio 603.
Anjer 226. 228.
Ankaratra-Gebirge 222.
Anno Bom 203.
Anomodonten 42. 44.
Anorthit 104. 106.
Antanánarivo 222.
Antholzer See 564.
Antiklinalen 54. 55. 346. 490.
Antillen, Kleine 196. 210.
Antimilos 215.
Antiparos 215.
Antisana 254. 280.
Apalhraun 202.
Apatit 637.
Apenninen 10. 166. 360. 373.
Aphroessa 218.
Appalachen 334. 348. 383.
Apscheron-Halbinsel 444.
Aptychen 414. 631.
Arabien 220. 576. 589.
Arachova 289.

Aralsee 563. 600.
Ararat 195. 219. 466. 540.
Archäische Bildungen 654—656.
— Periode 33. 34.
Archaeopteryx 44. 46.
Ardèche 161.
Ardennen 367. 662. 670.
Ardnamurchan 275.
Areg-Gebirge 577. 579.
Areopag 663.
Argäus 219.
Ariccia-Kessel 180.
Arizona 243. 484.
Arkturos 60.
Arlbergtunnel 120. 121.
Armenien 161.
Armorikanisches Gebirge 367. 368.
Arnesschyssel 198.
Arrakan 223. 224. 237.
Arsena, Schlammvulkan 445.
Artern in Thüringen 119.
Artesische Brunnen 119. 422—424.
Arthur's Seat, Berg 115.
Artikulaten 40.
Asama-Yama 192. 238.
Ascension 203.
Asche, vulkanische 11. 165. 166. 632.
Aschenkegel 149.
Askja 200. 201. 441.
Aso 238.
Aspromonte 393.
Asproniši 215. 216.
Assuân 110.
Asteroiden 62. 80. 90.
Asträen 611. 612. 614.
Astroni 84. 137. 172. 173. 268.
Atacama, Wüste 256. 576.
Atair 60. 68.
Atlantis 415.
Atlasgebirge 360. 424.
Atna 5. 8. 181—186. 394.
Atolische Alpen 361.
Atolle 403. 412. 613. 617. 618. 622.
Atrek 600.
Atrio del Cavallo 137. 140. 166.
Attika 215. 288.
Auckland 264.
Auernheim, Felsenmeer 455.
Aufforstung entwaldeter Berge 474. 509.
Aufschüttungstheorie 166 u. ff.
Augit 104. 106. 151. 156. 166. 638. 641. 644.
Augitporphyr 634.
Augitporphyrit 651.
Augsburg 299.
Auskeilen 50. 592.
Auskolkung 567.
Auswaschungsbeben 320.
Auswurfskegel 250.
Auswurfsprodukte, vulkanische 152ff.
Auvergne 170. 211. 212.
Averner See 84. 137. 178.
Azoren 189. 203. 314.

Baalbek 379.
Bab el Mandeb-Straße 598.
Bachergebirge 360.
Baersches Gesetz 519.
Bagno secco 194.
Bahamabank 210.
Bahamas 403.
Bahama-Inseln 220.
Baikalsee 117. 563.
Baischan 220.
Bakonyer Wald 361.
Bakterien 452.
Baku 444. 446.
Balanen 189.
Balangdasee 376.
Balchaschsee 600.
Balearen 361.
Bali-Insel 235.
Ballony-Inseln 266.
Baltischer Höhenrücken 423.
Banat 276.
Bandai-San 238—240. 242.
Bänderthone 469.
Banjuwangi 236. 237.
Bänke 591.
Bantam 226.
Baranco 168. 169. 205. 206. 233. 264. 271. 466.
Bäreninsel 532.
Baringo 376.
Bärlapp-Pflanzen 37.
Barometerstand, Einfluß auf den Stromboli 191.
— und Erdbeben 325. 326.
— und Kraterthätigkeit 280.
Barreninsel 223.
Barrierriffe 403. 412. 616.
Baryum 66. 67. 76.
Basalt 5. 22. 163. 167. 196. 207. 214. 636. 651.
— Entstehung 644. 645.
— fremde Einschlüsse 647.
— kugelschaliger 161.
— künstliche Darstellung 645.
Basaltbimsstein 193.
Basaltdecken 162. 269.
Basaltgänge im Colorado-Plateau 271. 646.
Basaltische Gläser 161.
Basaltsäulen 158. 159. 160. 646.
Basel 299.
Basilicata 305.
Basiluzzo 192.
Baskuntschachsee 601.
Basses-Alpes 473.
Batholithen 277.
Bathybius 629.
Bätische Kordillere 361. 390.
Battang 287.
Baulaberg auf Island 159.
Baumfarne 37.
Bayrischer Wald 367. 370. 654.
Beausset 348.
Beerenberg auf Jan Mayen 201. 203.
Beehive-Geiser 440.
Belemniten 349.
Belemnitiden 40. 43. 49.
Bellerberg 213.
Belopulo 215.
Bengalen 195. 223. 317.
Berchtesgaden 501.
Bergbaukunde, Verhältnis zur Geologie 3.
Bergen 661.
Bergen op Zoom 111.
Bergfeuchtigkeit 88.
Bergkompaß 53.
Bergsturz in der Brentagruppe 462.
— der Diablerets 466.
— des Dobratsch (1348) 308. 463.
— von Elm 461. 463—465.
— von Flims 466.
— zu Goldau 463.
— von Langen 465.
— vom Monte Zuna 462.
— am Roßberg 308.
Bergstürze 289. 290. 308. 461 ff.
— Größe der abgestürzten Massen 466.
— Ursache 462—466.
— Vorzeichen 467.
Bergwerke, Temperatur 116—119.
Bergwurzeln 131.
Bering-Meer 375.
— -Straße 195.
Bermudasinseln 575. 623.
Beryllium in der Sonne 67.
Beushausen 371.
Beuteltiere 42.
Bewohnbarkeit andrer Weltkörper 83.
Bex 448.
Bhamo 223.
Bialkathal 345.
Bidwellsee 244. 245.
Bifurkationen 521.
Big Thomson Creek 55.
Bimsstein 193. 202. 204. 230. 231. 650.
Bingöl 219.
Binneneis 552.
Bionnay 472.
Birma 223. 663.
Bischopscher Ring 233.
Biwasee 322.
Black ledge 260.
Blastoiden 37. 40.
Blattbeben 390. 392.
Blätter 345.
Blattverschiebungen 345.
Blaue Grotte auf Capri 532.
Blauschlamm 631.
Blei in der Sonne 67.
— vulkanisches Produkt 281.
Blennius im Gardasee 563.
Blisadonna 465. 466.
Blockgipfel 455.
Blocklava 153. 154. 156. 202. 263.
Blocklehm 458. 469. 562.
Bocan, Vulkan 221.
Bocca 146. 148. 168. 172. 184.
Bochnia 359.
Bodele-Oase 423.
Bodenquellen 425.
Bohlen bei Oberniß 366.
Böhmerwald 10. 367. 500. 654. 656.
Böhmische Masse 277. 357. 365.
Böhmische Schweiz 12. 455. 483.
Bohnerzbildung 507.
Bohrlöcher, Temperatur 116 ff.

Bohrmuscheln 399.
Boite 473.
Bojische Gneisformation 655. 656.
Bola-Bola 257.
Bolivia, Vulkane in 253. 256.
Bologna 300.
Bolsener See 180. 182.
Bomben, vulkanische 146. 165. 188.
Bonin-Inseln 113. 242.
Bonneville-See 388. 518.
Bootle, Wasserwerk Liverpool 119.
Bora 509.
Borku-Oase 423.
Borneo 237.
Borsäure 179. 193. 281.
Boschan, Vulkan 280.
Bosco 142. 145.
Bosporus 215.
Bourbon, Insel 158. 168. 222.
Bracciano, See von 180.
Brachiopoden 34. 36. 38. 40. 43.
Brahmaputra 318. 492. 526.
Bramidos 313.
Branchiosaurus 39. XIV.
Brandung 528.
— mechanische Leistung 528.
-- unterstützende Faktoren 528.
— Wirkung an Steilküsten 531.
Brasilisches Berg- u. Tiefland 395.
Brauntohlenlager auf Island 196.
Breccien 593. 594.
Brennerbahn 123.
Brenta 473.
Brentagruppe 461. 462.
Brieg 299.
Brillensteine 449.
Bristolkanal 528.
Brocken 455.
Brohlthal 213.
Brom 68. 281. 602.
Bronte 393.
Brüche 55. 57. 341. 343. 359. 360.
Bruchlinien 10. 11.
Bryozoen 34.
Bubu-Sümpfe 376.
Bucknall, Kohlengrube 118.
Budweis 331.
Bufa de Mascota 248.
Bügelkurre 626.
Bulla tympani 632. 633.
Bünder Schiefer 662.
Bunsensche Gesteinstypen 164.
Bunsenscher Gasbrenner 65. 66.
Buntsandstein 39.

Cabo de Gata 214. 392.
Cadiz 298.
Cadmium 67.
Caen 298.
Calcit 166.
Calcium 65. 67. 103.
Caldera 205—207. 235.
Callao 315.
Callo 255.
Calmeyer Eiland 230. 231.
Camaldoli 137. 165. 172.
Campagna 180. 182.
— Felice 137. 165.
Canidole 373.
Cañons 369. 484 ff.
Cantal 212.
Canterelle, Le 400.
Canton d'Aubrac 212.
Capella 68.
Capri 136.
Carcharodon-Zähne 633.
Cardium edule 563.
Carsonwüste 247.
Cartagena 214.
Cascade Range 243.
Caserta 145.
Cäsium 66. 67.
Casoletto 305.
Cassianer Mergel 50.
Castellamare 136.
Castiglione 295.
Castle-Geiser 440.
Catania 186. 315.
Catanzaro 305.
Caussés 501.
Ceboruco 248.
Celebes 236. 237.
Cenomanstufe 362.
Centaur α 60.
Cephalopoden 34. 36. 40. 43. 45. 49.
Cer in der Sonne 67.
Ceres 62.
Cerigo 372.
Cerigotto 372.
Cerra Punji 418.
Cerro de Ajusco 248.
Ceylon 403.
Chahorra 205.
Challenger-Expedition 625. 628. 629. 631.
Chargeh-Oase 424. 425.
Chassigny, Stein von 106.
Chicago 388.
Chiemsee 565.
Chile 253. 254. 256. 299.
Chillo 253.
Chimanfaya 209.
Chimära, Gaserhalation 446.
Chimborazo 167. 253.
Chinaman 441.
Chittagong 312.
Chlor 68. 103.
Chlorkalium als vulkanisches Produkt 151.
Chlorkupfer als vulkanisches Produkt 149. 151.
Chloritschiefer 652. 656.
Chlornatrium 66.
Chondrite 106. 107.
Christiana 215.
Christianiafjord 405.
Christina 305.
Chrom 67. 103. 106.
Chromosphäre 74.
Chrysso 289.
Chupadero 98. 209.
Ciminische Berge 180.
Cinder Cone 244—246. 268. 270.
Cisternensteine 272.
Citlaltepetl 248.
Civitavecchia 528.
Clear Lake 247.
Coast Range 243.
Cofre de Perote 248.
Cölenteraten 610.
Colima, Vulkane von 248.
Colorado 12. 170. 243. 244. 247. 270. 271. 277. 484.
Columbiafluß 243. 492.
Columbrete-Inseln 215.
Columbusbank 217.
Comosee 565.
Comstockgang 118. 122.
Connasaugaschiefer 348.
Conseguina 193. 225. 252. 466.
Cookstraße 312.
Corbières 348.
Cork 298.
Coronium 75.
Corrao-Insel 186.
Costarica 251. 253.
Cotopaxi 254. 255. 280.
Crozet-Gruppe 222.
Cumana 100.
Cumbre 205—207.
Cuscutlan 287.
Cykladische Inseln 215. 372. 373.
Cystideen 34. 36. 40.

Dacit 651.
Dachsteinkalk 364. 454.
Dakka 312.
Dalfjall 200.
Dakhel-Oase 424. 425.
Dakthyloporiden 608.
Dampfausströmungen 141.
Dämmerungserscheinungen des Krakatau 231—233.
Danan 225. 226.
Daonellen 40.
Darwinsche Lehre 15. 30.
Dattilo 192.
Daubréelith 104.
Decken 648.
Deflation 580. 582. 583.
Deformationen 349.
Dekhan 222. 269.
Delaware 492.
Delphi 289. 466.
Delta 523.
Deltabildung 524—527.
Deltaseen 564.
Demawend 170. 219.
Dendy, Vulkan 221.
Denudation 12. 56. 89. 496. 497.
— äolische 580.
-- Betrag der 586.
— Gesamtwirkung 586 u. ff.
— Unsicherheit der Berechnung 589.
Descendenzlehre 660.
Deutsch-Bogsan 276.
Devonformation 33. 36. 415.
Diabase 205. 207. 651.
Diagenese 666.
Diagonalschichtung 594. 595.
Diallag 638. 651.
Diamant in Meteoriten 104.
Diatomeen 36. 630. 631.
Diceraten 43.
Dikotyledonen 46.
Dilatationstheorie 548.

Diluvialtheorie 17.
Diluvialströme Norddeutschlands 520.
Diluvium 33. 49. 388. 518.
Dinarische Alpen 361.
Dinarisch-tauriſcher Grenzbogen 361.
Dinosaurier 41. 49.
Diorit 651.
Disasteriden 43. 49.
Disko-Insel 108. 109. 196. 416.
Dislokationsbeben 321. 392. 394.
Dislokationsmetamorphismus 670.
Dissociation der Grundstoffe 79.
Djebel Soda 424.
Djulukegel 221.
Doenje Ngai 221.
Dofané, Solfatarenberg 221.
Doglansee 376.
Dôle, Granitinsel 357. 365.
Dolerit 651.
Dolinen 320. 453. 502.
— Entstehung 503.
— Felsgebilde 504.
— Oberflächengebilde 503. 504.
— Schwemmlandgebilde 504.
Dolomit 447. 500. 586. 620. 634. 635.
Dolomitisierung 635.
Dolomittheorie 28.
Dominica 210.
Dompo 236. 237.
Donau 478. 492. 587.
Donaubruch 370.
Donaudurchbrüche 493. 495.
Donauwörth 299.
Dosso Capello 276.
Draa-Oase 424.
Drachenfelstrachyt 638.
Draguignan 348.
Drau 473. 490.
Dredsche 626.
Drei Zinnen, Berg 12.
Dreikanter 581.
Drusen 449.
Dschebel Tarr 220.
Dschogdschokerta 237.
Dubbi, Vulkan 221.
Duckfieldgrube 118.
Dunajec-Durchbruch 494.
Dünen 573. 595.
— Bindung durch Vegetation 574.
— Höhe, Ausdehnung und Form 573.
Dünenbildung 573.
Dünenwanderung 574.
Dünenwüste 578.
Dünkirchen 111.
Dünnschliffe 639—641.
Durchbruchsthäler 482.
Durchschnitte (Profile) 51.
Dyas 33.
Dynamometamorphose 670. 671.
Dyngjuháls 200.
Dwars, Insel 228.

East River 54.
Echinodermen 34. 37. 609.
Echizen 322.
Edd, Vulkan von 221.
Egei-Oase 423.
Eidechsen 41.
Eifel 213. 564.
Einsturzbeben 320.
Einzelbeben 292.
Eis, seine Wirkung 12. 536 ff.
Eisack 473. 489.
Eisberge 570 u. ff.
Eisenchlorid als vulkanisches Produkt 151. 156.
Eisenchlorür 104.
Eisenglanz als vulkanisches Produkt 149. 151. 156.
Eisen in der Sonne 67. 76. 103. 104. 108.
Eisenspat 447.
Eisensteinbildung 507.
Eisernes Thor 361. 478. 480. 493.
Eisfälle 554.
Eisfjorde 554.
Eisgrotten 547.
Eisseen 550. 564.
Eiszeit 30. 50. 407. 518. 561.
Eläolithsyenit 650.
Elbe 520. 526.
Elbrus 219.
Elburzgebirge 170. 492.
El-Golea 585.
Elgon 221. 378.
Eliasberg 216. 243.
Elmsfeuer 226.
Eltonsee 601.
Eluvium 453.
Emba 600.
Embrun 362.
Emergenzwinkel 332.
Emissionswinkel 327. 329.
Ems, Kesselbrunnen 426.
Enaliosaurier 41.
Engadin 559.
Englisch Narrows 256.
Enns 490.
Entwaldung 473. 509.
Eocän 49.
Eocänmeer 362.
Eozoon 657. 658. 660.
Epidot 637. 638.
Epigenetische Thäler 488.
Epizentrum 326. 327.
Erasinos 310.
Erbium in der Sonne 67.
Erdbeben 11. 285 ff.
— von Agram (1880) 288. 292. 300. 304. 311. 331. 337.
— andalusisches 300. 390.
— von Arica 315. 316.
— belgisches (1828) 392.
— von Belluno (1873) 288. 300. 304. 390.
— bengalisches (1881) 314.
— von Caracas (1812) 288. 303.
— von Casamicciola (1880) 294 ff. 300.
— von Charleston (1886) 287. 288. 299. 311. 314. 323. 331—334. 338.
— von Chile (1822) 299. 304. 312.
Erdbeben von Chios (1880) 287 288. 306. 307.
— von Concepcion (1835) 315.
— drehende oder wirbelnde 304.
— Fortpflanzungsgeschwindigkeit . 331.
— im Mündungsgebiet des Ganges 312.
— von Großgerau (1869, 1870) 288. 292.
— auf Hawai 287.
— von Herzogenrath (1873, 1877) 330. 332.
— Intensität 303.
— von Iquique 303. 315.
— auf Ischia (1881, 1883) 294 ff.
— italienische 332.
— japanisches 301. 314. 392.
— kalabrisches (1783) 300. 303. 305. 393. 394.
— kalifornisches (1872) 392.
— an der Kamplinie 389.
— in Kettengebirgen 321.
— kroatisches 300.
— von Kumamoto 301.
— in küstennahen Regionen 314.
— ligurisches (1887) 301. 314. 334. 394.
— von Lissabon (1755) 288. 292—294. 297—299. 315.
— von Malatia 301.
— messenisches (1886) 394.
— in Mino 322.
— mitteldeutsches (1872) 300. 330.
— mitteljapanisches (1891) 322.
— im südöstl. Mittelmeer (1870) 300.
— an der Mürzlinie 392.
— neapolitanisches (1857) 327. 330.
— in Niederösterreich 389.
— der oberrhein. Tiefebene 325.
— in Owari 322.
— von Pantellaria (1890) 188. 296.
— von Patras 301.
— in Phokis (1870) 288 ff. 300.
— von Quetta 322.
— radiales 394.
— rheinisches (1846) 330. 332.
— von Riobamba 303. 304. 308.
— Schweizer 392.
— von Sillein 330. 390.
— in Süditalien 393.
— sukkussorische 303. 304.
— tektonische 320. 392. 394.
— an der Wiener Thermenlinie 389.
— von Tokio 301. 335.
— undulatorische 303.
— Untersuchungsmethoden 323 ff.
— Ursachen 319 ff.
— Verbreitung 297 ff.
— vulkanische 392.
— von Wellington 434.
— von Wernoje (1887) 288. 301. 308. 325. 392.
— westdeutsches (1868) 330.
— Wirbelbewegung 304.
— Wirkungen auf Seen, Teiche und Quellen 299.

Erdbeben, Zahl und Dauer 286 ff.
— zantiotisches (1893) 314. 394.
Erdbebenarme Gebiete 302.
Erdbebenbeobachtung, Grundsätze 338.
Erdbebenbrücken 302.
Erdbebenfluten, Verbreitung 315.
— Fortpflanzungsgeschwindigkeit 315. 316.
Erdbebenforschung, Mitwirkung der Laien 337. 338.
— statistische 324. 326.
Erdbebenherd 326. 327.
Erdbebenhypothesen 319.
Erdbebenkataloge 287. 323. 324.
Erdbebenlinie von Scheibbs 390.
Erdbebenmesser, Wagnerscher 335.
Erdbebenreiche Gebiete 302. 303.
Erdbebenschwärme 288. 291. 292.
Erdbebenschwingungen 303.
Erdbebenskala 303.
Erdbebenspalten 322. 323.
Erdbebenstationen 326.
Erdbebenstöße 303 ff.
Erdbebenwellen 302. 331—334.
Erdbebenwogen 317.
Erdbebenzentrum 327.
Erde 4. 61. 62.
— Alter 126. 127.
— Gewichtsbestimmungen 115.
— Größe 110.
— Kugelform 110. 111.
— physische Beschaffenheit 109 ff.
— Rotationsellipsoid 111. 112. 114.
— Vergangenheit 88.
— Wärmeschatz 86.
— Zukunft 78. 88—90.
Erdfälle, durch Erdbeben verursacht 306.
Erdfeuer, heilige 444. 446.
Erdgeschichte 4.
Erdinneres, kritischer Punkt 131.
— Temperaturverhältnisse 116 f. 118—122. 128. 277.
— Zusammensetzung 109.
— Zustand 127.
Erdkern 116. 128. 131.
Erdkörper, spezifisches Gewicht 108.
— Starrheit 129. 130.
Erdkruste, Dicke 127. 128.
Erdmagnetismus u. Sonnenflecke 72.
Erdpfeiler 456. 458.
Erdpyramiden 456.
Erdrutschungen 461. 468.
Erdschias Dagh 219.
Erdschlipfe 468.
Erebus 267.
Erhebungskrater 167.
Erhebungstheorie 166 ff.
Erie-See 411. 478.
Erosion 12. 89. 455 ff. 477. 478.
— im Flachlande 484.
— durch Gletscher 555 ff.
— im Hochgebirge 499.
— in hydraulischen Goldwerken 476.
— rückschreitende 482.
— Unterschied zwischen Fluß- und Gletschererosion 568.
Erosionsformen 458. 459.
Erosionsthäler 488.
Erratische Blöcke 561.
Erstarrungskruste der Erde 604. 605.
Eruption des Ätna (1669) 185.
— des Conseguina (1835) 252.
— des Cotopaxi 254. 255.
— des Gunung Gelungung (1822) 234.
— auf Ischia (1302) 296. 297.
— des Jorullo 248—251.
— des Kilauea 259 ff.
— des Krakatau 224 ff.
— auf Lanzarote (1730) 209.
— des Loa 262.
— des Monte Nuovo 174 ff.
— von Santorin 215 ff.
— der Solfatara 141. 174.
— des Tarawera 264 ff.
— des Temboro 235 ff.
— des Vesuv s. Vesuv
Eruptionen, submarine 186 ff. 203. 210.
— Vorboten von 284.
— durch Einbrechen von Wasser beeinflußt 279. 280.
Eruptivgesteine 163. 644. 649.
Erzgebirge 367.
Erzgebirgsbruch 375.
Etagen 33.
Etangs 525.
Ethi 221.
Etsch 473. 489. 490.
Euechinoiden 40.
Euganeen 271. 372.
Eukrit 106.
Euphrat 524.
Eurypteriden 36. 38.
Eustatische Bewegungen 410.
Explosionsbeben 320.
Explosionskrater 564.
Eyjafjallajökull 197.
Ezzelinsburg 271.

Facettengeschiebe 581.
Faille du Midi 392.
Falcon-Inseln 266.
Falkeninsel 190.
Falllandinseln 552.
Falkonera 215.
Fallen der Schichten 53.
Falten, fächerförmige 346.
— Knie- 342.
— liegende 346.
— schiefe 346.
— Staffel- 342.
— stehende 346.
— vorpermische 366.
Faltenbildung als Wirkung der Schwere 380.
Faltengebirge, älteres 364.
Faltensattel 351.
Faltenverwerfungen 347.
Faltungen 54. 343. 346. 352.
— bruchlose 350. 351.
— cretacische 362.
— Maß der Zusammenschiebung 382.
— miocäne 362.
— paläozoische 364. 366.
Faltungen, posthume 368.
— Ursache 352. 356.
— vordevonische 368.
— vorkambrische 370.
Falzthurnthal 461.
Färöerinseln 196. 269. 416.
Faulhorn 453.
Faxabucht 375.
Faxafjördur 202.
Fayal 203.
Feldberg 340. 368.
Feldspate 637. 643.
Felicudi 190.
Felsengebirge 243. 269.
Felsenthore 532.
Felsitpechsteine 650.
Felstrichter 501.
Ferdinandea, Insel 183. 186. 187. 189.
Fernando Noronha 113. 210.
Fernando Póo 203.
Ferro, Insel 203. 204. 208.
Fersina, Wildbach 475.
Fessan 424.
Festlandsmassen, Entstehung 11.
— Alter 413 ff.
— Schwankungen 399.
Festlandssockel 396.
— von jeher vorhanden 397.
Festoninseln 396.
Feuerberge 5.
Feuerland 195. 552. 663.
Feuerstein 579. 585. 605. 631.
Fichtelgebirge 367. 370.
Fidschiinseln 257.
Figurensteine 16. 17.
Fillmore 246.
Fingalshöhle 158. 159.
Finsteraargletscher 555.
Finsteraarhorn 349. 352. 385.
Finsterbachthal 457.
Firmerich bei Daun 213.
Firneis, -Felder, -Kessel, -Mulden 540.
Fische 36. 38—40. 43. 49.
Fiume 331.
Fixsterne, Eigenbewegung 60.
— gelbe und rote 68. 78.
— weiße und lichtbläuliche 68.
— Zahl und Entfernung 59. 60.
Fixsternhimmel 59.
Fixsternspektra 68. 78.
Fjorde 406. 560. 568.
Fjordgletscher 554.
Fjordseen 564.
Fladenlava 154. 202. 263.
Flammenerscheinungen bei vulkanischen Ausbrüchen 152.
Flexuren 342.
— Schiebungs- 345.
Flores 237.
Flözgebirge 22.
Flözgesteine 4. 31. 50. 592.
Flug.idechsen 41.
Flugsand 573.
Fluidalstruktur 642.
Fluor 68.
Fluß, normaler 477.
Flußeis, geologische Bedeutung 537.

Flußgabelungen 521. 524.
Flüssigkeitseinschlüsse in Mineralen 642. 643.
Flußläufe, älter als die Gebirge 493.
— des Himalaja 493.
— seitliche Verlegung 519.
— Verlandung 537.
Flüsse, Schlammführung 587.
— Thätigkeit im Ober-, Mittel- und Unterlauf 477. 478.
Flußterrassen 514. 585.
Flußwasser, Zusammensetzung 599. 606.
Flutwelle 297. 315.
Flysch 595.
Flyschzone 359. 360. 362.
Fogo, Insel 210.
Fonseca, Bai von 253.
Fontana 294.
— Fredda 271.
Foraminiferen 5. 34. 37. 40. 42. 49. 398. 446. 623. 624. 627. 628. 630. 631. 658.
Foraminiferenschlamm 415.
Forio 294.
Formationen 22. 33 ff. 655.
Formosa 195. 237.
Forsterit 166.
Fossa Lupara 178.
Fossilien 13.
Fosso della Vetrana 147. 149.
Frankenwald 370.
Frankreich, Zentralplateau 357. 365.
Franzensbad 426.
Frascati 180.
Fraunhofersche Linien 66—68.
Freiberger Mulde 522.
Freyburg-Bayreuther Spalte 371.
Fremde Blöcke 165.
Freundschaftsinseln 257. 266.
Friaul 308.
Frosinone 182.
Frostwirkung 451. 579.
Fuerteventura 204. 207.
Fugleberg auf Jan Mayen 202. 203.
Fuhrmann, Sternbild 68.
Fuji 238.
Fujigori 239.
Fujizone 242.
Fukasawa 239.
Fukui 322.
Fumarolen 141. 156. 173.
Fundamentalgneis als Erstarrungskruste 665. 672.
Fünfkirchen 331.
Fusulinen 624.
Fusulinenkalk 62.
Futabasi 239.

Gabbro 651.
Gaeta 183. 623.
Gail 473. 489.
Galapagos 257.
Galeritiden 43. 49.
Gallium 66. 68.
Gambier-Inseln 616.
Ganderbach 471.
Gangbildung 449.
Gänge 56. 57. 341.
Ganges 317. 524. 526.
Gangspalten 57. 449.
Gangstruktur 160.
Ganoiden 36. 40. 45. 49.
Gardasee 563. 569.
Gasausströmungen 426.
Gascogne, Dünen 574.
Gase in Meteoriten 104.
— glühende in Nebelflecken 70.
Gaseinschlüsse in Mineralen 642.
Gastein 426.
Gaultstufe 362.
Gaurisankar 380. 395.
Gaurus 137.
Geantiklinale 384.
Gebirge 339. 340.
— Abtragung 496.
— Alter 29. 353.
— aufgeschwemmtes 22.
— Aufrichtung 7. 10. 11. 353.
Gebirgsbau, Einfluß auf die Flußrichtung 490.
Gebirgsbildende Kräfte 7.
Gebirgsbildung 29. 339 ff.
— ältere Ansichten 352—354.
— durch Abkühlung der Erde und Schrumpfung des Erdkerns 380 ff.
— durch die Anziehungskraft der Gestirne 387.
— Fortdauer 387 ff.
— neuere Theorien 355.
— thermale und isostatische Hypothesen 385 ff. 412.
— thermische Theorie 383.
Gebirgsformen 339.
Gebirgsketten längs der Küste 195.
Gebirgssysteme 7. 28.
Gehängelehm 453. 454.
Geiser 427 ff.
— Abarten 440.
— Eruption 428.
— auf Neuseeland 433.
— Sympathie 440.
— Thätigkeit 440. 441.
— Theorie 431.
— des Yellowstone-Parkes 437.
Gekröselava 154—156.
Gelungung 234. 235. 280.
Genfer See 563. 565. 569.
Genua 334. 360.
Geognosie, Definition 3.
Geologie, Definition 3.
— Beziehungen zum praktischen Leben 14.
— chemische 30.
— dynamische 136 ff.
— Geschichte der 14 ff.
— Hindernisse des Fortschrittes 18. 19.
— historische 13.
— neue Richtung 30.
— physikalische 59.
— topographische 13.
— stratigraphische 28.
— Verhältnis zur Astronomie 4.
Georgios, Insel 218.
Geosynklinalen 384.
Geothermische Tiefenstufe 118 ff. 127.
Gepatschferner 541.
Germanium in der Sonne 67.
Gerölle 5. 592—594.
Gerolstein, Vulkan von 213.
Geschiebe, gekritzte 557. 558.
Gesellschaftsinseln 195. 257.
Gesteine, aphanitische 640.
— durchlässige (permeable) 418.
— Entstehung und Lagerung 4.
— Erguß- oder vulkanische 648.
— geschichtete 4. 5.
— kieselsäurereiche und -arme 636.
— klastische 415. 593. 594.
— körnige 649.
— Metamorphose 664. 666.
— minerogene u. organogene 593.
— normalpyroxenische (normalbasaltische) 163. 164.
— normaltrachytische 163. 164.
— Plastizität in großer Tiefe 130.
— porphyrische 649.
— saure und basische 636.
— Störung in der Lagerung 341.
— Tiefen- oder plutonische 648.
— undurchlässige 418.
— Verwitterung 451.
— Zerstörung durch raschen Temperaturwechsel 579.
Gesteinsbildung 590 ff.
Gesteinsgemengteile, wesentliche und accessorische 637.
Gesteinslehre 637.
Gesteinsquellen 425.
Gesteinstypen 650.
Gesteinsuntersuchung, chemische und physikalische 639.
Gestirne, Zustand 78.
Gezeiten der Erdfeste 130.
Gioca 360.
Giona 291.
Gips 5. 151. 171. 187. 446. 448. 449. 592.
Gipsbildung 596 ff.
Gipslager 586.
Gipsschlotten 446.
Gironde 526.
Glacier du Bosson 542.
Glasmasse in Gesteinen 642. 644. 648.
Glasschwämme 34. 42. 629.
Glaukonit 632.
Glaukonitsand 631. 632.
Glazialzeit 408.
Gleichgewichtshypothese 385.
Gleitfaltungshypothese 385.
Gleitungserscheinungen loser Massen 469.
Gletscher 12. 408. 538 ff.
— Anwachsen u. Zurückweichen 549.
— der Eiszeit 561.
— Erosion und Transport 555 ff.
— erster u. zweiter Ordnung 540.
— Länge und Dicke 540. 541.
— regenerierte 548.
— Verbreitung 552.
Gletscherbäche 546.
Gletscherbewegung 541—545.
— Einfluß der Jahreszeiten 545.
Gletscherbildung 540.

Gletscherbrüche 548. 554.
Gletschereis 540. 572.
Gletscherenden 541.
Gletscherfüße 546.
Gletschergarten von Luzern 479.
Gletscherkritzen 561.
Gletschermühlen 546. 553.
Gletscherneigung 541.
Gletscherschrammen 559. 562.
Gletscherschwankungen 550. 551.
Gletscherseen 560.
Gletscherspalten 541. 547. 548. 553.
Gletscherthor 547.
Gletschertisch 545.
Gletscherzunge 541.
Glimmer 166. 638. 650.
Glimmerschiefer 6. 22. 651. 652. 655. 656.
Globigerinen 5. 7. 627. 628.
Globigerinenschlamm 627. 629. 630.
Gloggnitz 360.
Gneise 6. 22. 651. 652. 655. 656.
Gnomon 110.
Gobiwüste 576.
Gobius im Gardasee 563.
Gomera 204. 208.
Gondwánaland 416.
Gondwánaschichten 384. 416.
Gorner Gletscher 555.
Göttergarten 459.
Gotthardtunnel 120—123.
Graben 199. 221. 343. 375. 489.
Grabenbrüche 375 ff. 488.
Grabensenkungen 220. 282. 371. 488.
Gradmessungen 110—114.
Graham-Insel 186.
Granada, Insel 210.
Granat 166. 637. 638. 652.
Gran Canaria 204. 207. 208. 210.
Graner Gebirge 361.
Granite 5. 22. 108. 276. 636. 637. 655. 665. 672.
— Zerstörung 579.
Granitfragmente im Basalt 647.
Granitporphyr 650.
Granittypus 650.
Graphit 104. 656. 660.
Graptolithen 34. 36.
Grauwacken 655.
Great Basin 243—245. 388. 518.
Green River 492. 495.
Gregoriusgang 450.
Greiner Strudel 480. 492.
Grenelle 119. 422.
Gresit 237.
Grindelwaldgletscher 547. 569.
Grönland 404. 406. 408. 415.
Großer Bär 68.
Großer Graben 376.
Grotta dei corvi 142.
Grotten 532.
Grundgebirge 22.
Grundeis 558.
Grundmoräne 557.
Grundwasser 419. 420.
— Austritt bei Erdbeben 310. 311. 318.
Grünschiefer 652.
Grus 456.
Gstellihorn 349.
Guadeloupe 210.
Guadix 392.
Gualatieri 256.
Guanazuato 313.
Guatemala 251. 252.
Guayaquil 255.
Gubet-Harab 220.
Gueule de l'Enfer 161.
Gufferlinien 555. 556.
Guinea, Golf von 203.
Gunnison Valley 379.
Güns 360.
Gunung Gelungung 139. 234. 237.
— Guntur 234.
— Lamongung 234.
— Semeru 233.
— Sumbing 168. 233.
— Temboro, s. Temboro.
— Tenger 234.
Gura 577.
Guruivulkan 376.
Guslar-Ferner 550.

Haffe 525. 564.
Haifischzähne im roten Tiefseethon 632.
Hainburger Berge 361.
Halobien 40.
Hammáda 576. 579. 583.
Hammam Meskutin-Quellen 441.
Harro, Vulkan 221.
Harz 277. 365. 662.
Hassan Dagh 219.
Haufenprotuberanzen 75.
Haurangebirge, Vulkane 220.
Hautes-Alpes 473.
Hauyn 166.
Havelberg 520.
Hawai 85. 153. 154. 158. 257. 258.
Hawaschfluß 221. 378.
Hebriden 269. 275.
Hebungen 12. 312. 401. 410. 411. 569.
— Ursachen 412.
Hebungskrater 167—169.
Hekla 163. 201—203.
Helgafell 200.
Helgoland 530. 532.
Helium 74. 76.
Helluhraun 202.
Henry Mountains 273.
Herchenberg 213.
Herculaneum 138. 142. 145.
Hercynische Glimmerschieferformation 655.
— Gneisformation 655.
— Phyllitformation 655.
Herkules, Sternbild 60.
Hernikergebirge 182.
Hexakorallien 40. 42.
Hiera, Insel 216.
Hierlatzkalke 454. 455.
Hieroglyphen 595.
Hikone 322.
Himalaja 10. 363. 383. 395. 414. 493. 540. 543. 552.
Hinterindien 223.
Hiwahoa 257.
Hoangho 521. 524. 526. 600.
Hochgebirgskalke 669.
Hochseen 566. 568.
Hochvernagt-Ferner 550.
Hochvogel 340.
Hoeisan 239.
Hogarberge 424.
Höhlenbildung 501. 502. 586.
Höhnel-Insel 221.
Höllenmorast von Kronstadt 442.
Holmarsfjäll 162.
Holmium 68.
Homologien, geographische 394 ff.
Homs, Basalt von 379.
Honduras 251.
Honsiu 240. 242.
Horizontalpendel 301.
Hornblende 638. 641. 650.
Hornblendeschiefer 652. 655.
Hornitos 250. 251.
Hornschwämme 629.
Hornstein 414. 415. 633.
Horste 199. 340. 343. 366. 416.
— Zwillings- 371.
Horstgebirge 366.
Hotham-Insel 186.
Hualalai 258.
Hudsonbai 117.
Hule, See von 379.
Humboldtfelsen bei Aussig 160.
Humit 166.
Humusbildung 452.
Hundsgrotte 178.
Hundsheimer Berge 360.
Huronen-See 411.
Huronisches System 656.
Hütsche 213.
Hverfisthal 198.
Hverfjall 199. 200.
Hyerisches Massiv 348.
Hypersthenite 205. 207. 656.

Ice Spring Craters 246. 247.
Ichthyopterygier 49.
Ichthyosaurier 41.
Idaho 243. 268.
Idzu 239. 242.
Igalliko-Fjord 406.
Iguanodon 45. 48.
Ilopango 252.
Imatrasteine 449.
Imbros 215.
Imerina 222.
Inawasiro-See 239.
Indium 66. 67.
Indus 492.
Infiltrationen 419.
Infusorienerde 245.
Inlandeis 12. 408. 412. 552 f.
Inlandsseter 517.
Inn 482. 490.
Innthal 489. 490.
Inoceramen 49.
Insekten 37. 43.
Inselberge (Zeugen) 583.
Inselvulkane Italiens 183. 190.
Irawadi 223.
Irharhar 424.
Iridium in der Sonne 67.

Irland 269. 277.
Isalco, Vulkan von 252.
Isanabase 410.
Isargletscher 565.
Ischia 137. 141. 172. 179. 294. 296. 297.
Isker 492.
Island 161. 189. 196. 269. 416. 426. 427. 605.
Isle de France 113.
Isoseisten 333. 334.
Isoseistenkarte 333. 334.
Isostasie 386.
Itasy-See 222.
Itea 289. 291.
Itrafutinuhraun 202.
Ivanicagebirge 361.
Iwaki 242.
Iwojima 242.
Iwonicz, Gasquelle 446.
Izdubarlied 316. 318.
Iztaccihuatl 248.

Jacobshavn-Gletscher 543. 572.
Jagdhunde, Sternbild 70.
Jakutsk 117.
Jamaica 414.
Jan Mayen 201—203.
Jantsekiang 600.
Japan 163. 195. 237. 238. 301. 314.
Java 161. 195. 223. 233. 236.
Javorki 495.
Jebisujima 238.
Jenissei 526.
Jeres 298.
Jeschkengebirge 347.
Jeso 238.
Joanna Boguslawska-Insel 189. 190. 243.
Jod 68. 281.
Jokohama 287.
Jökulbarmur 202.
Jökulsa 199. 203.
Jordan 599.
Jordanthal 375. 378. 488. 601.
Jorullo 157. 169. 248—251.
Juan Fernandez, Insel 256. 257.
Julia-Insel 186. 232.
Jungfrau 349.
Jupiter 63. 68. 80. 88.
Juraformation 33. 42. 415.
Juragebirge 348. 353. 358.
Jurakalke 414.
Juraklippen 361.

Kaaba 93. 106.
Kachar 312.
Kadmium in der Sonne 67.
Kadschak-Gebirge 323.
Kaibab-Plateau 484.
Kaiserstuhl 339. 340.
Kalahari-Wüste 576.
Kalamaki 308. 311.
Kalbeis 570.
Kalben der Gletscher 555. 570. 572.
Kaledonisches Gebirge 368.
Kalifeldspat 447.
Kalifornien 243. 268. 476.
— Vulkane 247.
Kalifornisches Küstengebirge 663.
Kalium 65. 67. 103.
Kalkabsätze niederer Organismen 605. 627.
Kalkalgen 605. 608.
Kalkausscheidung aus Wasser 602.
Kalkbildung durch Foraminiferen 623.
Kalkbildungen 5. 605—609.
Kalke 500. 586. 591. 592.
Kalkkonkretionen im Löß 510.
Kalksanddünen 623.
Kalksandstein 594.
Kalkschichten, geknickte 7. 10.
Kalkschwämme 629.
Kalksinter 584. 603.
Kalkspatrhomboeder 640.
Kalkstein 5. 447. 596.
Kalktuff 603. 604.
Kalkzone der Alpen 359.
Kalmanstunga 158. 164.
Kaluß 599.
Kalymnos 372.
Kambrische Formation 33. 34. 655. 656.
Kameni-Inseln 217. 269.
Kamerunpik 203.
Kammerbühl 214.
Kamplinie 389. 390.
Kamtschatka 195. 238. 242.
Kanada 657. 658.
Kanadischer Schild 369.
Kanaren 161. 169. 203. 207.
Kander 476. 587. 588.
Kandern 371.
Kane 446.
Kannstatt 298.
Kantengeschiebe 581.
Kant-Laplacesche Theorie 63. 64.
Känozoische Periode 33. 46.
Kaolin 447.
Kap Calava 191.
— der Minerva 136.
— Horn 229. 396.
— Lopatka 242.
— May 530.
— Miseno 137. 172.
— Rejkianäs 189.
— San Martin 214.
Kapstadt 572.
Kapverden 203. 210.
Karabagh 219.
Kara Bugas-Bucht 598.
Karakorum 552.
Kare 566. 568.
Karibisches Meer 375.
Karlsbad 426. 604.
Karpathen 10. 214. 269. 358—360. 414. 552.
— Sandsteinzone 604.
Karpatho 372.
Karren 500.
Karrenfelder 500.
Karstbildung 500 ff.
Karsttrichter 453. 502.
Karten, geologische 52.
Karwaiten 574.
Karwendelgebirge 9.
Kasbek 219.
Kaskaden 152. 263.
Kaskadengebirge 244. 552.
Kaspisee 563. 600.
Kasr Dakhel 425. 584.
Kassiduliden 43.
Kassiopeia 79.
Kastor 60.
Katakekaumene 219.
Kataklasstruktur 350.
Kataklysmentheorie 26. 30. 354.
Kataraktе 478.
Katavothren 505.
Kathedralenklippe in Colorado 459.
Katimbanz 225.
Katla 203.
Katu 220.
Katzenbachthal 457.
Kaukasus 10. 219. 540. 552.
Kea 258.
Keanakakoi 261.
Keeling-Atoll 619.
Keilberger Randspalte 370.
Kelduhverfi 311.
Kenia 221. 375.
Kentish-Town 119.
Kephalonia 507.
Keplerscher Stern 79.
Keramo 307.
Kerguelensland 222.
Kermadec-Inseln 266.
Kertsch-Halbinsel 444.
Kessel 501.
Kesselbrüche 202. 360. 372. 375. 388—390. 397. 507.
Kesselthäler, Entstehung 507.
Kettengebirge 9—11. 340.
— Heimat der Erdbeben 321.
Kettenjura 358.
Keuper 39.
Kibo 221.
Kieselgur 630.
Kieselsäure in heißen Quellen 605.
Kieselschiefer 657.
Kieselschwämme 629.
Kieselsinter 428. 430. 433. 435. 605.
— Absatz durch Algen 441. 605.
Kilauea 258—263. 280.
— neuer See 261.
— Iki 261.
Kilimandscharo 221. 375. 378.
Kimolos 215.
Kinangop 221.
Kirisima-Zone 242.
Kirphis 289. 290.
Kissingen 371.
Kiusiu 238.
Klammen 482.
Klappersteine 449.
Kleiner Hund, Sternbild 68.
Klettaberg 164.
Klima, Einfluß auf Strandverschiebungen 411.
Klingstein 650.
Klippenregion von Neumarkt 610.
Klippenzone 493. 494.
Klusen des Jura 496.
Klutschewskaja Sopka 168. 242.
Knickungen 54. 55.
Knochenfische 43. 45.

Knochenlehm 502.
Knorrdolomit 348.
Kobalt 67. 103.
Kobandai 239. 240.
Koburg 212.
Kochquellen 429. 430. 432.
Kochsalz 66. 151. 156.
Kohala 258.
Kohlenformation 33. 37.
Kohlenmeteoriten 106.
Kohlensäureausströmungen 89.
Kohlensäureeinschlüsse in Gesteinen 104. 643.
Kohlensäurequellen 89.
Kohlensäurevorrat der Atmosphäre 88.
Kohlenstoff 67. 68. 103.
Kohlenwasserstoffe 69. 104.
Kohlenwasserstoffausströmungen 444.
Köhlerberg, Vulkankegel 214.
Kokkolithen 628—631.
Kokkosphären 628.
Kolke 480.
Kollottadyngja 202.
Kolonnadenspektra 78.
Kometen 101. 102.
Komoren 222.
Kompaß, Freiberger 53.
Kondéplateau 222.
Konglomerate 352. 593. 594. 665.
— paläozoische 649. 656.
Kongo 376. 478. 526.
Königshütte, Kohlenwerk 313.
Königszonen 73.
Konkretionen 449. 631.
Kontaktmetamorphose 669.
Kontaktwirkungen 166. 645.
Kontinente, Alter 413.
— Erhebung über dem Meere 395.
— Permanenz der 416.
— von Kettengebirgen eingesäumt 395.
— Umrißbildung 396.
Kontraktionstheorie 380—383. 387.
Konulariden 34. 38.
Kopais-See 506.
Kophissos 506.
Korallen 5. 34. 36. 40. 42. 398. 610.
Koralleninseln 612 ff. 621. 622.
Korallenkalke 403. 453. 619.
Korallenriffe 412. 612—614.
Korallensand 620.
Korax 289—291.
Korea 237.
Körnige Struktur der Tiefengesteine 648.
Koronaspektrum 75.
Kos, Insel 215. 218. 353. 372. 373.
Kosazuba 239.
Kosmischer Staub 632.
Kossëir 614. 615.
Krabben 45.
Krafla 163. 202.
Krakatau 224—233. 282. 298. 315. 466.
Krater, parasitischer 182. 184.
Kraterseen 244. 564.
Krebstiere 34. 40. 43.
Kreide, weiße 631.
Kreideformation 33. 44. 362.
Kreta 215. 372. 373. 375.
Kriechspuren 595.
Krimler Tauern 489.
Krinoiden 34. 36. 40. 43. 609. 656.
Kristallinischer oder körniger Kalk 653. 656.
Kristallinische Schiefer 651 — 654. 663 ff.
— — chemische Zusammensetzung 651. 652.
— — mit Kohlenpflanzen 662.
— — nacharchäische 661.
— — Vorkommen und Lagerung 654.
Kristallinische Struktur, künstliche Darstellung 654.
— Zentralzonen der Alpen 359.
Kritischer Punkt 77. 131.
Kritzen 537. 557.
Krokodile 41. 584.
Kroßtenslera 562.
Krustaceen 34. 36. 38. 40. 43. 45.
Kuenlün 395. 552.
Kufra-Oase 423.
Kukscha 220.
Kullok 220.
Kulmbacher Spalte 371.
Kumani-Insel 445.
Kumawara 238.
Kunkurs 449.
Kunzen 574.
Kupfer 67. 103. 151. 281.
Kuppen 648.
Kuppengebirge 11.
Kur 600.
Kuradi 215.
Kurilen 195. 238. 242.
Kurische Nehrung 574.
Kusigamine 239.
Küstenbildung 396. 397.
Küstendünen 573.
Küstenlinien, Verlauf nach dem geologischen Bau 396.
Küstenplattform, Hindernis der Erosion 533. 534.
Küstenriffe 613. 614.
Küstentypen 396. 397.
Kverkhnúka-rani 200.

Laacher See 213. 564.
Laas-Polje 506.
Labyrinthodonten 38. 40.
Lacatunga 255.
Lacco-Bucht auf Ischia 178. 179. 294.
Lagergänge 58. 274. 283.
Lägern 388.
Lagerung, abstoßende 55.
— diskordante 57.
— gleichmäßige 56.
— konkordante 56.
— übergreifende 56.
— ungleichmäßige 57.
Lagerungsstörungen 341.
Lagerungsverhältnisse 50 ff.
Lago d'Agnano 137. 172.
Lagunen 525. 616.
Laguneninseln 617.
Lagunenriffe 617.
Lahontan-See 518.
L'Aigle, Aërolithenfall von 91. 94. 97.
Laibach 331.
Lakkolithen 272—274. 283. 356 648. 649.
— Entstehung 274 ff.
Landpflanzen 36. 37.
Landschnecken 37. 45.
Landsee, Berge von 360.
Lang-Eiland 225. 231.
Langisjor 198.
Längsthäler 489.
Lanthan in der Sonne 67.
Lanzarote 204. 207—210.
Lapilli 139. 165.
Lapisinische Seen 563.
La Plata-Mündung 572.
Lappland 112. 415.
La Rochelle 119.
Lassen's Peak 243. 244.
Laterit 453. 454.
Laua y Sereri 376.
Laubbäume 46.
Laukasteine 449.
Laurentinisches System 656.
Laurlongebirge 662. 663.
Lauro 142.
Lausitzer Gebirge 347.
Lauteraar-Gletscher 555.
Lava 11. 129. 160. 162.
— säulenförmig abgesondert 158.
Lavabewegung 152.
Lavadecke 158.
Lavagänge 166. 646.
Lavagrotten 157.
Lavahöhlen 263.
Lavakaskaden 263.
Lavaschlauch 153.
Lavaströme 147. 152 ff. 166. 168.
— Erkaltung 157.
Lavaturm 168.
Lavavulkane 201. 268. 270.
Lavaweißglut 152.
Laven, Zusammensetzung 162.
Lavini di San Marco 462.
Lawrencit 104.
Le Fayet 473.
Leier, Sternbild 60. 68. 69.
Leinethal 375. 488.
Leirhnúkura 200.
Leithagebirge 360. 361.
Leithakalk 608.
Lemnos 215.
Leonidenstrom 101.
Leopold-See 221. 376.
Lepidodendren 37. 38.
Leucit 163. 166. 638. 644. 650.
Lias 42.
Libanon 379. 501.
Libelle 643.
Libysche Wüste 573. 577.
Licht, Brechung 64.
Lick-Sternwarte 70. 86.
Lido 525. 606.
Lieth bei Altona 119. 120.
Likeri-See 506.

Lima 303. 315.
Limane 525. 564.
Limonit 447.
Linse 51.
Lipari 190. 192. 194. 394.
Liparische Inseln 161. 163. 183. 189. 190. 393.
Liparite 192. 202. 650.
Lithium 65—67. 103.
Lithodomen 189. 399.
Lithographische Schiefer von Solnhofen 44. 596.
Lithosphäre 407.
Lithothamnien 608.
Litorale Kalkbildungen 609.
Liukiu-Inseln 195. 237. 238.
Livanjsko Polje 505.
Loa 153. 258. 259. 262. 280.
Lokalmoräne 562.
Lok Botan bei Baku 444. 445.
Lökö 411.
Lombardische Seen 565.
Lombok 235—237.
Long Beach 530.
Longitudinalbeben 392.
Lonongot 221.
Lop Nor-See 600.
Lorenzostrom 526.
Löß 510 ff. 575.
— in China 511.
— in der Donauniederung 514.
— im Rheinthal 513.
Lößbildung 454.
Lößbrunnen 511.
Lößkindchen 449.
Lößmännchen 449. 510.
Lößwohnungen 513.
Loß-Inseln 210.
Lotabweichungen 114. 115.
Löwe, Sternbild 60. 68.
Lucriner See 84.
Luftsattel 56.
Luftwelle des Krakatau 229.
Lukavecz 161.
Lussinpiccolo 373.
Lykabettos 663.
Lykopodiaceen 37.

Maare 213. 266. 372. 564.
Mäandrinen 612.
Macaluba von Girgenti 442.
Macetas 209.
Macigno 662.
Maco 209.
Macocha 503.
Mac Pike Crater 247.
Madagaskar 222.
Madeira 203. 298. 314.
Madison 437.
Madoniengebirge 393.
Madreporen 6. 611. 612. 614.
Madrid 298.
Magasethal 240.
Magma 648.
Magnesiasilikate 447.
Magnesium 67. 76. 103.
Magnetit 104. 638. 644. 656.
Mai-Inseln 216. 218.
Mailand 299.
Maionisi oder Mai-Inseln 216.
Maitsimba 376.
Majorca 304.
Makassar 236.
Malaga 392.
Malediven, Korallenarchipel 617.
Mallets Methode zur Berechnung des Erdbebenzentrums 327 ff.
Malojapaß 482.
Malpais 169. 209. 249.
Malta 373.
Mammoth-hot-springs 441.
Mancha Blanca 209.
Mandeln 449. 457.
Mandelsteine 449.
Mandschurei 220.
Mangan 67. 103.
Manganreiche Knollen 631. 632.
Mangischlak 219.
Mangrovesümpfe 593.
Manitobasee 411.
Manjara 376. 378.
Manzanahuaico 255.
Marañon 526.
Marcellgletscher 546.
Marianen 242. 257.
Marienbad 426.
Markasit 117.
Markesasinseln 195. 257.
Marlekor 449.
Marmor 653. 663.
— der laurentischen Gneise Kanadas 657.
Marmorisierung des Kalkes 670.
Mars 62. 80. 89.
— Atmosphäre 68. 82.
— Hemisphären 80.
— Kanäle 81. 82.
— Oberfläche 80.
— Organismen 82. 83.
Marsawa 221.
Marseille 334.
Martellthal 472.
Martinique, Insel 210.
Masaya, Vulkan 192.
Maskarenen 222.
Massa di Somma 142. 147.
Massaua 221.
Massenabgänge 114.
Massenanhäufungen 114.
Massenbewegungen 7.
— als Folge der Schrumpfung 382.
Massengebirge 10. 11. 340. 366.
Massengesteine 4. 5.
— Entstehung 643 ff.
— fremde Einschlüsse 646.
— pyrogene Natur 647.
— Zusammensetzung 636.
Massenveränderungen 133.
Matheainsel 634.
Matterhorn 496.
Mauthausen, Granitbrüche 388.
Mawensi 221.
Mayotte 222.
Medina 220.
Meeraugen 567.
Meer, Durchschnittstiefe 418.
— größte Tiefen 395.
— Wassermenge 417. 418.
Meer, zerstörende Wirkung 527 ff.
Meere, periodische Umsetzung von den Polen zum Äquator 410.
— Umsetzungen in horizontaler Richtung 408.
Meeresbecken, Entstehung 11.
Meeresmuscheln in Gesteinen 398.
Meermühlen von Argostoli 507.
Meerwasser, Zusammensetzung 596
Meganitas 310.
Mejonit 166.
Melaphyre 296. 645. 651.
Melasfluß 506. 507.
Meleda 313.
Melfi 167. 183. 296.
Melilith 166.
Mensch, erstes Auftreten 50.
Mera 482.
Merak 226. 228.
Meran 559.
Mer de Glace 540. 542.
Mergel 5. 607.
Mergelknauern 512.
Mergen 220. 280.
Merkur 62. 78. 80. 95.
Meru 221.
Mesa Verde in Colorado 9.
Mesierskanal 256.
Mesositerite 106.
Mesopotamien 576.
Mesozoische Periode 33. 39.
Messendorf, Vulkan von 214.
Messina 305.
Metamorphismus 23. 24. 667 ff.
Metamorphose bei gewöhnlicher Temperatur und ohne hohen Druck 668.
— plutonische 667.
— unter Einwirkung von Druck und Wärme 667.
Meteoreisen 93. 94. 104 ff.
Meteorische Gesteine, Vergleich mit irdischen 106. 107.
Meteoriten 78. 90. 91.
— Größe und Masse 98.
— Herkunft 99.
Meteoritenfälle 91 ff.
— Geschwindigkeit 95.
— Vorgänge bei 95.
— Zahl 94.
Meteoriten, Zusammensetzung 103. 104.
— Oberflächenbeschaffenheit 96.
Meteorit von Agospotamos 93.
— von Alais 106.
— von Braunau 105.
— von Butsura 98. 99.
— von Cold-Bokkeveld 106.
— von Crema 98.
— von Ensisheim 93.
— von Ephesos 93.
— von Heßle 98.
— von Hraschina bei Agram 91. 92. 94. 105.
— von Juillac 94.
— von Kaaba (Ungarn) 106.
— von Kakova 96.
— von Knyahinya 92.
— von Krasnojarsk 106.

Meteorit von L'Aigle 91. 94.
— von Orchomenos 93.
— von Orgueil 106.
— von Peſſinus 93.
— von Pultusk 95. 97.
— von Quenggouk 98.
— von Schleuſingen 93.
— von Siena 92. 94.
— von Stannern 96. 97.
— von Tenneſſee 105.
— von Woldcottage 94.
Meteorſchwärme 97. 98.
Meteorſtaub 98. 414. 632.
Meteorſteine 104.
Meteorſtröme und Kometen 101.
Methana 135. 169. 215.
Mettenberg 349.
Mexiko 161.
Mezène 212.
Mfumbiro 222.
Michiganſee 411.
Middle Island 256.
Midori 321. 322.
Mikaidamigo 239.
Mikra Kameni 216—218.
Mikrobreccienſtruktur 350.
Mikrolithen 642.
Mikroſeismiſche Inſtrumente 286.
Mikroſkopiſche Einſchlüſſe in Mineralen 642.
— Unterſuchung der Geſteine 639.
Milchſtraße 60.
Milleporen 611. 612. 614.
Milos 215. 218.
Mineralausſcheidungen aus wäſſeriger Löſung 448. 449.
— auf Gangſpalten 449.
Minerale, doppelbrechende 641.
— geſteinsbildende 637. 638.
Mineralgänge 450.
Mineralkohlen 593.
Mineralogie, Verhältnis zur Geologie 3.
Mineralquellen 426.
Minerogene Gebilde 593.
Miocän 49. 363.
Miſſiſſippi 524. 526.
Mitteldeutſche Alpen 367.
Mittelmeer 214. 372. 597.
Mittelmoränen 555.
Mizutonoſinden 239.
Möckers 371.
Moſetten 89. 178.
Mogador 298.
Mokomoko 236.
Molaſſe 344. 359.
Moldova 276.
Möll, Kalkarmut 599.
Mollusken 34. 37. 43. 608.
Molukken 195. 237.
Molybdän in der Sonne 67.
Moncalieri 300.
Mond 62. 68. 84. 85. 90.
Mondorf 119.
Monoſee 246. 268. 518.
Mons Lactarius 136. 137.
Montana 268.
Montaña Blanca 205.
— de Fuego 208. 209.
Mont Blanc 340. 362. 363. 380.
— Cenis-Tunnel 120. 123.
— Deniſe 212.
— Dore 212.
Monte Amiata 179. 180.
— Angelo 136.
— Artemiſio 180.
— Cavo 182.
— Ceraſo 180.
— Cito 295.
— Cocuzzo 393.
— Criſtallo 591.
— Epomeo 141. 179.
— Ferru 215.
— Gargano 373.
— Gemmellaro 186.
— Gibbio 444.
— Maſſi 118.
— Nuovo 84. 137. 141. 171. 174—178. 268. 270. 297. 399.
— Olibano 174.
— Pendiſe 271.
— Roſa 359.
— Rotaro 179.
— Sant' Angelo 136. 183. 307.
— Somma 84. 136. 137. 140. 166. 167. 172.
— Tabor 179.
— Venda 271.
— Vescovo 180.
— Zuna 462.
Monteſiascone 180.
Monti Roſſi 184—186.
— Silveſtri 186.
Montlia 289.
Montpellier 211.
Montreal 411.
Montſerrat, Inſel 210.
Monumentenpark 458.
Monzonit 276.
Moränen 12. 555.
— Verhalten bei Gletſcherſchwankungen 558.
Moränenlandſchaft 561.
Moränenſeen 567. 568.
— Norddeutſchlands 567.
Moſaſauriden 45. 49.
Moſenberg bei Brettenfeld 213.
Motril 392.
Mount Baker 243. 244.
— Dana 246.
— Egmont 168. 169. 264.
— Ellen 273.
— Ellsworth 273. 274.
— Helens 244.
— Heſperus 273.
— Holmes 273.
— Hood 244. 280.
— Rainier 244.
— Shaſta 244.
— Wrangell 243.
Mückenſee 199. 200.
Muggendorfer Höhlen 501.
Muirgletſcher in Alaska 572.
Mulalo 255.
Mulatto 276.
Muldefluß 521.
Mulden 346.
Mull, Inſel 275.
Murbrüche oder Muren 470—473. 558.
Murgang 470.
Muſchelbänke 401. 405.
Muſchelkalk 39. 609.
Muſcheln 5. 34. 40. 43. 45. 49.
Muſchel- und Schneckenſchalen am Veſuv 166.
Mutterlaugenſalze 597. 599.
Myrdalsjökull 198.
Mytilen 189.
Myvatn 200. 441.

Nadelhölzer 37.
Nagelfluh 565.
Nagy Hagymas 564.
Naiwaſcha 376.
Näkkebröd 449.
Namar auf Island 441.
Námufjall 200.
Näpfchen der Meteoriten 96.
Nanawale 261.
Narcondam 223.
Näſita 239.
Natrium 65—67. 76. 103.
Natronſeen 376. 423.
Naturſpiele 16.
Nautiliden 34. 36. 38. 40. 43.
Navajo-Church 523.
Nea Kameni 215. 217. 218.
Neapel 136. 305. 360.
Nebelflecke 61. 69. 70.
Nebelglühen 231. 232.
Nebelprotuberanzen 75.
Neckarthal 455.
Necks 270.
Negeln 574.
Negit, Inſel 246.
Nehrungen 525.
Nemi-See 180.
Neodymium in der Sonne 67.
Neokomſtufe 362.
Neoſpalte 322. 392.
Nephelin 161. 166. 638. 650.
Neptun 63. 80.
Neptunismus 353.
Neptuniſten 23. 24. 643.
Nerineen 43. 49.
Nerita-Inſel 186.
Nette 213.
Neubraunſchweig 415.
Neubritannien 257.
Neue Hebriden 257.
Neufundlandsbank 572.
Neuguinea 195. 257.
Neuholland 576. 589.
Neukaledonien 616.
Neumexiko 243.
Neuſeeland 426. 432. 568. 605.
Neuſeeländiſche Alpen 540.
Neuſeeland, Vulkane 190. 264 ff.
Nevada 243. 269.
Nevado de Toluca 248.
Nevis, Inſel 210.
Newhaven 101. 411.
New Jerſey 530.
Ngeſiſee 222.
Niagarafall 478.
Niblum 575.

Nicaragua 251. 252.
Nickel 67. 103.
Nicol, Nicolsches Prisma 641.
Nicolosi 184—186.
Nicosia 393.
Niederschlagsmenge auf dem Festlande 418.
Niederwendig, Lavastrom von 213.
Nigerfluß 478.
Nikobaren 223. 403. 663.
Nil 478. 489. 524. 589.
Niobium in der Sonne 67.
Nisita, Insel 137. 138. 172. 178.
Nisugimura 239.
Nisyros 215. 218. 372.
Nitromonaden 452.
Nizza 334.
Nola 142. 145.
Noni 220.
Nördliche Krone, Sternbild 79.
Nordlichter und Sonnenflecke 72.
Normalbasalt 163.
Normaltrachyt 163.
Northumberland 274.
Norwegen 277. 404. 552.
Nosean 163.
Nullaberg 660.
Nulliporen 612.
Numano-taira 239.
Nummuliten 624.
Nummulitenkalke 624.
Nunataks 553—555. 562.
Nyassa-See 221. 376. 378. 489.

Oahu 619.
Oasen der Libyschen Wüste 422. 423. — Herkunft des Wassers 423. 424.
Ob 526.
Obandai 239.
Oberer See 119. 411.
Oberfulzbachgletscher 550.
Obsidiane 161. 650.
Obsidianströme 193. 202. 204. 205.
Ochotskisches Meer 375.
Oceeeschiefer 348.
Odádahraun 199—202.
Odawaragebiet 239.
Odenwald 365. 370. 371.
Oder, alter Lauf 520.
Ofen, Erosionsform 479.
Ofener Gebirge 361.
Ogla-el-Hassi 584.
Okaro-See 265.
Old Red 415. 416.
Oligocän 49.
Olivin 104. 106. 108. 166. 638. 644. 651.
Olot, Vulkane von 214.
Olymp 492.
Ontario-See 411. 478.
Opal 605.
Oppido 305.
Orakaikorako 432.
Orbulinen 627 f.
Oregon 243. 244. 268.
Organismen in archäischer Zeit 657—661. — in Meteoriten 107.
Organogene Gesteine 593. 594.
Orgeln, geologische 505.
Orinoko 478.
Orion, Sternbild 60. 68—70.
Orkney-Inseln 415.
Orlo 494.
Ormus 220.
Ortéale, Vulkan 221.
Orthoklas 447. 637. 641. 650.
Osceola-Grube 119.
Osima 242.
Osmium in der Sonne 67.
Ossa 492.
Ostafrikanischer Graben 221. 375.
Osterinsel 195. 257.
Österreichisch-Schlesien, Vulkane in 214.
Ostsee 597.
Oszillationen 297.
Oszillatorische Bewegungen 409.
Ottajano 137. 142. 145.
Otz, Kalkarmut 599.
Otzthal 489.
Ovifak, basaltisches Eisen von 104. 108. 109. 116.
Owen-See 518.
Owens Valley 331.
Ozeane, Permanenz 416.

Packeismassen 572.
Padua 300.
Pahoehoë 154. 202. 263.
Paläa Kameni 215. 216. 218.
Paläechinoiden 40.
Palaemon im Gardasee 563.
Palaeodictyon 595.
Palagonittuff 196. 197.
Palandokän 171. 219. 283.
Paläontologie 3. 637. — Verhältnis zur Geologie 4. 12.
Palaeotherium magnum 49.
Paläozoische Periode 33. 34.
Palladium in der Sonne 67.
Pallas 62.
Pallaseisen 106.
Pallasite 106.
Palma 142. 204—207.
Palmarola 194. 401.
Palmyrenische Wüste 379.
Palocsa 493. 494.
Pambeck-Kalessi-Quellen 441.
Pamirplateau 219.
Pampafluß 495.
Panaria-Insel 191. 192.
Pandschab 331.
Pantellaria 171. 176. 183. 186—189. 282. 283. 296. 400.
Panum-Krater 246.
Panza 294.
Panzerfische 36. 38.
Pa-o-ha, Insel 246.
Papandajang 235.
Paralimni-See 506. 507.
Parnaß 289.
Paris, Gradmessungen 111.
Pariser Sternwarte, Kellertemperatur 117.
Pas de Calais 347.
Pastaza 253.
Pasterze 541.
Patagonien 568.
Patamban 248.
Patellen 189.
Paterno 328.
Patzcuaro 248.
Pavant Butte 247.
Pawlowsk 301.
Pekal 236. 237.
Peloponnes 288. 361. 501.
Peloritanisches Gebirge 393.
Pendelbeobachtungen 111—113.
Peneus 492.
Pentagonalnetz Beaumonts 354.
Penumbra der Sonnenflecke 71.
Perbuatan 225. 226.
Perim, Insel 220.
Perioden, geologische 33.
Peripherische Stöße 393.
Perlite 650.
Permformation 33. 38. 416. 454. — mit gneisartigen Gesteinen 662.
Perseidenstrom 101.
Persien 219. 576.
Perth 115.
Peru 112. 253. 256.
Peschan 220.
Petersburg 670.
Petrographie 637.
Petroleum 14. 442. 444.
Pfäfers 426.
Pfahl 655.
Pfingstinsel 621. 623.
Phädriaden 291.
Philippinen 195. 237. 403.
Phlegräische Felder 84. 85. 135. 137. 141. 146. 165. 172 ff. 182.
Phonolith 270. 650.
Phonolithobsidian 650.
Photosphäre 74.
Phyllite 651. 652. 655. 656.
Piane 137. 166. 172.
Piano greco 194. — del Lago 184.
Pianura von Camaldoli 137. 172. — di Rosarno 306.
Piavethal 489.
Pico, Insel 203. — Viejo 205.
Pik von Orizaba 248. — von Tancitaro 248.
Pillkoppen 574.
Pinchincha 254.
Pindus 361.
Pinienwolke 139. 140.
Pinzgau 489.
Pisolith 645.
Piton de la Fournaise 222.
Pitzpuhl bei Magdeburg 119.
Plagioklase 638. 641. 644. 650.
Planeten, Bewohnbarkeit 83. — Schicksal 78.
Planetenspektra 68.
Planetensystem 61—64. 80.
Planinagrotte 501.
Planina-Polje 506.
Plankton 625. 628.
Plastizität auf Druck 549.
Platin in der Sonne 67.
Plattenlava 203.

Plattensee 361. 563.
Pleistos 291.
Pleistoseistes Gebiet 303.
Plejaden 61.
Plenthybai 432.
Plesiosaurus 44. 45.
Pleurotomarien 43. 49.
Pliocän 49. 402. 415.
Plutonisten 277. 353. 643.
Pnyx 663.
Po 372. 524. 526.
Pochutla 248.
Poeloe Rakata 224.
Pohutu-Geiser 440.
Poikfluß 501.
Point Sublime 485.
Polarisiertes Licht 640. 641.
Polatiefe 394.
Policastro 360.
Polierschiefer 630.
Polinos 215.
Polje 505.
Pollux 60. 68.
Polochic 252.
Polykandros 215.
Pomigliano d'Arco 142.
Pompeji 138. 139. 142. 145. 297.
Ponapé-Insel 616.
Pondischerri 223.
Pongau 489.
Ponore 505.
Pontinische Inseln 194.
Ponza 194.
Ponzainseln 183.
Poolsche Hoedje 231.
Popocatepetl 248. 280.
Poprad 491—493.
Poriten 611. 612.
Poros 215.
Porphyr 5. 22. 636. 650.
Porphyrfragmente im Basalt 647.
Porphyrische Struktur 648.
Porphyrit 651.
Port Elizabeth 228. 229.
Portici 142—145.
Porzellanerde 447.
Porzellanjaspis 645.
Posilippo 137. 172.
Potomac 492.
Präzession der Nachtgleichen 128.
Präzisions-Nivellements 113.
Prebischkegel 13.
Predazzo 276. 356.
Přibram 118. 123.
Principe-Insel 203.
Prinz Edwards-Insel 222.
Procida 137. 172. 178.
Prochon 68.
Profile 51.
Propylit 163.
Protozoen 34.
Protuberanzen 75.
Pseudomorphosen 668.
Pterichthys 36. 38.
Pterodaktylen 41.
Pterosaurier 49.
Pterygotus 36. 37.
Puai, Insel 434.
Puia te mimi-a-Homaite Range 433.
Puiatherme 440.
Pulkowa 300.
Pulvinulina 627.
Pulsationen 286.
Pultusk, Steinregen von 95. 97.
Pulvermaar 213.
Punmahuidda 280.
Punta 310.
– della Campanella 136.
— Caruscia 189.
— Tracino 189.
Pusterthal 489.
Puy 212.
— Chopine 170. 171. 211.
— de Dôme 167. 212.
— de la Goutte 170.
— de la Rodde 11.
— de Sarcoui 269.
Puzzuoli 137. 173.
Pyramidalgerölle 581.
Pyrenäen 10. 355. 552. 568.
Pyrit in Meteoriten 104.
Pyrmont, Brodelbrunnen 426.
Pyrophylacien 20.

Quanto 240.
Quaquaversale Schichtung 169. 173.
Quartärformation 33. 49.
Quarz 104. 246. 605. 637. 641. 643. 650.
— künstliche Darstellung 647.
Quarzit 594. 653. 655.
Quarz-Orthoklasgesteine 650.
Quarzporphyr 368. 650.
Quarzsand 594.
Quarzsandstein 594.
Quarztrachyte 650.
Quebradas 255.
Quellen 419—421. 425 ff.
-- Aufsuchung 422.
-- indifferente 427.
-- Temperatur 425.
— des Baikalthales 432.
Quellkuppen 269. 270.
Quenggouk, Meteoriten 98. 107.
Querbeben 390.
Querthäler 489.
Querverschiebungen 345.
Quito 253.

Rackthal 505.
Radiationspunkte od. Radianten 101.
Radiolarien 34. 446. 628. 630. 631.
-- vorkambrische 657.
Radiolarienerde 414. 415.
Radiolariengesteine 631.
Radiolarienschlamm 631.
Radiolarienschlick 633.
Radstädter Tauern 662.
Ragaz 474.
Raguain 223.
Rakata 225—228.
Ramri 223. 237.
Randseen 565. 568. 569.
Randuborgir 199.
Rank-Herlein 446.
Rantum 574.
Ran von Kachh 401.
Rapilli 139. 165. 166.
Rappakiwi 455.
Rasenerzbildung 507.
Rasenquellen 425.
Rauchringe aus dem Vesuvkrater 151.
Rauhe Alb 339. 484.
Rautenberg 214.
Razalpe 419.
Reculet 346.
Regelation des Gletschereises 549.
Regeneration der Gletscher 548.
Regenmenge 418.
Regentropfen-Eindrücke 595.
Regenwürmer, Thätigkeit 452.
Reggio 305.
Reguläre Substanzen 641.
Regulus 60. 68.
Reibsteine 479.
Reihenvulkane 195.
Reka, Insel 218.
Relaisbeben 322. 334.
Reliktenfauna 379.
Reliktenseen 563.
Reptilien 39. 40. 44. 45. 49. 416.
Resina 142—145.
Reuß 587. 588.
Reußthal 489.
Revilla Gigedo-Inseln 251.
Reygadalr Foß bei Hvammr 164.
Reykjahlid 441.
Reykjanes 200. 201.
Rhabdolithen 628. 629.
Rhabdosphären 628.
Rheinisches Schiefergebirge 365. 367.
Rheinthal 340. 375. 490.
— Grabensenkung 358. 375. 488.
Rheinthalspalten 371.
Rhinoceros antiquitatis 50.
Rhodium in der Sonne 67.
Rhodus 372.
Rhön 212.
Rhônegletscher 544. 547. 551.
Rhynchonelliden 43.
Rhyolite 163. 650.
Richthofen-Riff 50—52.
Richthofens Reihe 163.
Rienz 473.
Riesengebirge 213. 367.
Riesenkessel 546.
Riesentöpfe 479. 546.
Rieskessel bei Nördlingen 370—372.
Rifkalke 403.
Riffkorallen 6. 403. 612. 613.
Riffstein 620. 635.
Rigel 60. 68.
Rigi 359.
Rillen 85.
Ringelerze 451.
Ringelwürmer 656.
Ringgebirge des Mondes 85.
Ringnebel 69. 70.
Rinnenseen 568.
Rio Colorado 12. 159. 160. 484.
— — Cañon 12. 170. 247. 271. 484—486.
— Pastassa 255.
Ritten bei Bozen 457.
Robinson-Insel 256.
Rocca Monfina 182.

Rocca di Papa 300.
— Priora 180.
Roches moutonnées 559.
Rocky Mountains 243. 458.
Rodeo 209. 210.
Roderberg bei Rolandseck 213.
Rongstock 276.
Ronquidos del Sangai 254.
Rosaliengebirge 360. 361.
Rosebridgegrube 118. 123
Rossi-Forelsche Intensitätsskala für Erdbeben 334.
Rotalien 630.
Rotationsellipsoid 111. 112. 114.
Rotes Meer 11. 375. 378. 379. 403. 597. 614.
Rote Sterne 68. 78.
Rotliegendes 38. 454.
Rotokakahi-See 264.
Rotomahana 264—266. 434. 435.
— -Spalte 280.
Rotomakariri-See 265.
Rotorua-See 264.
Rouen 119.
Rua 271.
Ruapehu 264.
Rubidium 66. 67.
Rüdersdorf bei Berlin 119. 479.
Rudisten 45. 49.
Rudolf-See 220. 376. 378.
Ruffi 470.
Rügen, Verwerfungen im Diluvium 388.
Rugosen 34. 40.
Ruinenmarmor 17.
Rum, Insel 275.
Rumpfgebirge 366.
Rundhöcker 559.
Russische Tafel 369.
Russisi-Fluß 376.
Ruthenium in der Sonne 67.

Sabine-Insel 196. 416.
Sable Island 530.
Sabrina 203.
Sachalin 240.
Sächsisch-böhmische Sandsteintafel 484.
Sächsische Schweiz 12. 13. 455. 483. 484. 488.
Sacramentofluß 492.
Saddle-Insel 220.
Saërmi 459.
Sagami 239.
Sahama 256.
Sahara 423. 573. 576. 584. 585.
Sainte Henriette-Grube 118.
Sainte Lucie, Insel 210.
Säkulare Hebungen und Senkungen 398. 399. 410.
Sakurajima 238. 242.
Salamvria 492.
Salas y Gomez 257.
Salbänder 161.
Salenien 49.
Salerno 136. 305.
Salève, Mont 344. 346.
Salina 190. 194.
Salinellen von Paterno 442. 443.
Salmiak als vulkanisches Produkt 156. 193.
Salomoninseln 257. 403.
Salsen von Modena 442.
— von Sassuolo 443.
Salt Range 495.
Salzachklamm 479.
Salzbildung in abflußlosen Seen 600.
Salzgehalt des Meeres 586.
Salzkammergutseen 564.
Salzlager, Bildung 586.
Salzsäure als vulkanisches Produkt 156. 193.
Salzsee, großer 518.
Salzwassereis 572.
Sambesi 478. 489.
Samoainseln 257.
Samum 578.
San Andres, Vulkangebiet von 248.
Sand 5. 14. 165. 166. 453. 592—594. 623.
Sandgebläse 580. 582.
Sandkrater, durch Erdbeben verursacht 308. 309. 311. 312.
Sandstein 5. 416. 591. 593. 594.
— alter roter 36. 415. 416.
Sandsteine, gefrittet oder verglast 645.
— quaderförmige Anordnung 483.
— säulenförmig abgesondert 645.
Sandsteinzone der Alpen 359.
Sand- und Staubstürme der Steppengegenden 575.
Sandwichinseln 195. 258. 316.
Sandwüste 577.
Sangai, Vulkan 192. 253. 254. 256.
Sangar 236. 237.
San Giorgio a Cremano 147.
Sanidin 638. 650.
San Jorge 203.
Sankt Augustin ꝛc. s. St. Augustin ꝛc.
San Miguel 203.
Sanosekigawa 239.
San Salvador 251. 252. 287.
— Sebastiano 142. 147.
Sansego 373.
San Stefano 194.
— — del Bosco 304.
Santa Anastasia 142.
— Catalina 209. 210.
— Cruz 206.
Sant' Eufemia 360.
San Thomé 203.
Santorin 189. 214 ff.
San Vincente, Vulkan 252.
Sanzal 323.
Sarca 473.
Sardinien 215.
Sarkan 574.
Sarkolith 166.
Sarno 136.
Sassua, Vulkan 221.
Sassuolo, Salse 443.
Satelliten 63.
Satsuma-Meer, Vulkaninseln im 238. 242.
Sättel 54. 346.
Saturn 63. 68. 80.
Sauerstoff 68. 103.
Säugetiere 42. 44. 45. 49. 50.
Sauglöcher 505.
Säulenbasalte 159. 160.
Säulenförmige Absonderung 158. 645. 646.
Säulengänge 586.
Saumriffe 613. 614.
Sauropterygier 41. 49.
Scala di Salona 291.
Scandium in der Sonne 67.
Scarle, Lincoln 119.
Schachtelhalme 37.
Schalenkrebse 38.
Schallphänomene bei Erdbeben 298. 313.
— des Krakatau 230.
Scharung 240.
Schemnitz 117. 118.
Schichten 31. 51 ff. 591.
— Altersbestimmung 31.
— Mächtigkeit 50. 592.
— aufgerichtete 7. 52. 53. 592
— auskeilende 50. 51. 592.
— gebogene 7. 52.
— geknickte 7. 10. 52.
— geneigte 7. 53. 592.
— geschleppte 57.
— horizontale 31.
— seigere 54.
— überkippte 54.
Schichtgesteine 31. 413. 590 ff.
— Einteilung 592. 593.
Schichtstörungen 6. 7. 52. 341. 351
Schichtung, Diagonal- 594. 595.
— Kennzeichen der Absatzgesteine 591.
— quaquaversale 169. 173.
Schiefer 591.
— Bildung der Mineralbestandteile 654.
Schiefergesteine, kristallinische 6. 651. 661—663.
Schieferthone 594.
Schieferung, falsche 349. 592.
— transversale 349. 592.
Schildkröten 41.
Schildkröteninseln 257.
Schiweljutsch 242.
Schlacken, vulkanische 166.
Schlackenkegel 88. 89.
Schlamm 5.
Schlammausströmungen 432.
Schlammquellen, heiße 441.
Schlammvulkane 442—445.
— Gasexhalationen 445. 446.
Schlangen 45.
Schlangenträger, Sternbild 79.
Schleppnetze 626.
Schleppung 55. 57. 341. 345.
Schlieren 165.
Schliersee 565. 566.
Schluderbach 12. 462.
Schlundlöcher 505.
Schnecken 34. 40. 43. 45. 49.
Schneeberg 419.
Schneegrenze 538.
Schneelinie 538.
Schneidemühl 423.
Schöpfungssagen 15. 19.

Schottland 277. 415. 568.
Schotts 585. 600.
Schratten 500.
Schrattenfelder 500.
Schreibersit 104. 632.
Schreibkreide 414.
Schuppen 347.
Schüttergebiete 389.
Schutt- u. Schwemmkegel 471. 523.
Schutzrinde der Wüstengesteine 585.
Schwäbische Alb 32. 332. 340.
Schwämme 629.
Schwan, Sternbild 79.
Schwankungen des Meeresspiegels 399. 407.
Schwarzes Meer 597.
Schwarzwald 10. 340. 341. 357. 358. 365. 366. 370. 500.
Schwefel 14. 67. 103. 193.
Schwefelcalcium 104.
Schwefelsaures Kupfer als vulkanisches Produkt 151.
Schwefelwasserstoffgas-Exhalationen 174.
Schweflige Säure als vulkanisches Produkt 156.
Schwere, Einwirkung auf die Gebirgsbildung 380
Sciacca 189.
Sciarra 192.
Sconcasso 194.
Scyllagebirge 393
Sebchas 585.
Sebesie, Insel 225. 226. 230.
Sedimentgesteine 4. 31. 592. 594.
Seebeben 314 ff.
Seen, Entstehung 562 ff.
Seenreichtum in alten Gletschergebieten 562.
Seehunde im Baikal- u. Kaspisee 563.
Seeigel 34. 37. 43. 44. 49. 398. 609.
Seelilien 34. 609. 656.
Seesterne 34. 609.
Seiche 299.
Seine 526.
Seismograph, Gray Milnescher 336.
Seismometer 300. 324. 334.
Seitenmoränen 555.
Semmeringbahn 123.
Senkungen 11. 221. 343. 358. 360. 375. 408.
— Betrag der 375.
— kontinentale 12. 569.
— als Wirkung der Schwere 380.
Senkungsbeben 394.
Senkungsfelder 11. 359. 370. 390.
— am Innenrande der Gebirge 381.
Senkungsgebiete 370. 416.
Sennewitz bei Halle 119.
Senonstufe 362.
Seramy-Insel 226.
Serapistempel von Puzzuoli 176. 399. 401.
Serir 576. 581.
Serpentin 171. 447. 636. 651. 657. 658.
Serpulen 189.
Seßlacher Spalte 371.
Seter 406.
Setledsch 492.
Set Saß 50—52.
Settima 221.
Sevilla 298.
Shakespeare-Klippe 533.
Shastina 244.
Shehallien, Berg 115.
Shetlandsinseln 415.
Shirefluß 376. 489.
Sibirische Ebene 395.
Siciliana bei Girgenti 187.
Siderische Kräfte 135.
Siebenbürgen, Vulkane in 214.
Sieben Geschwister-Inseln 242.
Sierra de Baza 392.
— Leone 210.
— Nevada 243. 244. 246. 269. 334. 361. 386. 392. 395. 458.
— la Plata 273.
— de Ronda 334. 392.
— Tejada 392.
Sigditza 291.
Sigillarien 37.
Sigmoide 345.
Sila 393.
Silber in der Sonne 67.
Silicium in der Sonne 67. 68.
Silikate 447. 636. 651.
Silo 373.
Silurformation 33. 34.
Silur Norwegens 661.
Simetosfluß 476.
Simplontunnel 120. 123. 124.
Simultanbeben 334.
Sinai 379.
Sinisches System 240.
Sinopoli Vecchio 305.
Sinterterrassen 264. 434. 435.
Sintflut 17. 316 ff.
— noachitische 16. 33.
Siva, Vulkan 192.
Sirius 68.
Siriusweite 60.
Sittizzano 305.
Sizilien 373. 501.
Skálfandafljót 199. 203.
Skaptafluß 198.
Skaptargletscher 197.
Skaptarjökull 157. 163.
Skaptarkraterreihe 198.
Skaptarspalte 197. 198. 466.
Skjaldbreid 202.
Skorpione 37.
Skulpturthäler 488.
Skye, Insel 274. 275.
Smyrna 215. 219.
Snag Lake 244. 245.
Snake River 437.
Snoefellsjökull 197.
Soconusco 251.
Sodalith 166.
Sodaseen 247.
Solfatara 84. 137. 141. 170. 172—174. 268. 297.
Solfatara-Eruption 141. 174. 297.
Solfataren 174 179. 432.
Solfatarenthätigkeit 174. 186.
Solferata 182.
Solnhofen, Schiefer von 44. 596.
Solo 237.
Somaliland 376.
Somalplateau 221.
Somma 137. 140. 145.
Songari 220.
Sonne 60—62. 69—78.
— Bewegung 60.
— Größe 61. 62. 71.
— physische Beschaffenheit 76.
— Temperatur 77.
Sonnenatmosphäre, Grundstoffe 67.
— umkehrende Schicht 74.
Sonnenelemente 67.
Sonnenfackeln 71.
Sonnenflecke 71—75.
Sonnenprotuberanzen 76.
Sonnenspektrum 66. 67.
Sonnensystem 61.
Sonnentheorien 76—78.
Sonnjochgipfel 461.
Sorrentiner Berge 166.
Sorrento 136. 182.
Soufrière auf Guadeloupe 210.
Spalten 10. 370. 371.
Spaltenausfüllungen 368. 371.
Spaltenbildung durch Erdbeben 306. 307—310.
Spaltenergüsse 268. 270.
Spaltenthäler 488.
Spaltquellen 421.
Spanish Peaks 274.
Spatangiden 44.
Speckstein 447.
Speer (Berg) 359.
Spektralanalyse 64 ff.
Spektroskop 65.
Spektrum 65.
— kontinuierliches 65. 66.
— umgestürztes 67.
Spessart 365.
Spezifisches Gewicht 107.
— — des Erdkörpers 108.
Sphinx von Gizeh 581.
Spinnen 37.
Spiralnebel 69. 70.
Spitaler Gang 450.
Spitzbergen 404. 415.
Spitzingsee 566.
Spongien 629.
Spratzkegel 157. 197.
Springfluten 324.
Springquellen 432. 433.
Sprudel 426. 429.
Sprudelschale 433.
Sprudelstein der Karlsbader Thermen 604.
Sprünge 343.
Sprunghöhe 57.
Stabiä 138.
Stachelhäuter 34. 40. 609.
Staffa 158. 159.
Staffelbrüche 343.
Stalagmiten 602.
Stalaktiten 158. 602.
Starnberger See 565.
Starrheit des Erdkörpers 129. 130.
Staßfurt 599.
Staubfälle 232.
St. Augustin, Insel 243.

St. Beaume 348.
St. Christoph, Insel 210.
St. Eustache, Insel 210.
St. Helena 113. 203.
St. Gervais 472. 473.
St. Paul, Insel 177. 179. 222.
St. Paul-Felsen 190. 203.
St. Vincent, Insel 210.
Staukolke 480.
Stauseen 472. 564.
Stauungsmetamorphismus 670.
Steers Eiland 230. 231.
Stefanie-See 378.
Stegocephalen 38—40. 43.
Steinernes Meer bei Berchtesgaden 501.
Steinregen 93. 95.
Steinsalz 5. 446. 596 ff.
Steinsalzlager der norddeutschen Ebene 598.
Steinschlagrinnen 461.
Ste. Lucie, Insel 210.
Sterne, aufleuchtende 79.
— gelbe 68. 78. 79.
— rote 68. 78. 79.
— veränderliche 78.
— weiße 68. 79.
Sternhaufen 61.
Sternschnuppen 100. 101.
Stickstoff 67. 70. 103. 104.
Stier, Sternbild 61. 68.
Stiller Ozean, Vulkane 257 ff.
Stirnmoränen 555.
Stöcke 648.
Stockholm 411.
Stockwerke 33.
Störungen der Schichten 7. 52. 341.
Strahlenprotuberanzen 75.
Strandhöhlen 532.
Strandlinien 12. 401. 404—406. 408. 411.
Strandriffe 412.
Strandverschiebungen 397 ff.
— durch Massenanziehung des Inlandeises 408.
— in den äquatorialen Gegenden 403. 404.
— in Küstengebieten 406.
— in Skandinavien 404—406.
— klimatologische Seite 411.
— Mangelhaftigkeit der Beobachtungen 399.
— mit Zwischenbewegung 406.
— positive und negative 398. 410. 412.
— Ursachen 407 ff.
Streichen der Schichten 53.
Struktur 429. 430.
Stromboli 191. 192. 280. 394.
Strombolianische Thätigkeit des Vesuv 148.
Stromboluzzo 191.
Stromschnellen 478.
Strömungskolke 480.
Stromverlegungen 520 ff.
Strontium 65. 67. 103.
Strudellöcher 479.
Strukturbeben 320.
Strukturformen der Eruptivgesteine 648. 649.
Stückelalgen 630.
Stufen 33.
Sturzwelle des Krakatau 228.
Styrtur 202.
Subaco 209.
Subasimura 239.
Sublimationsprodukte 156.
Submarine Eruptionen 186 ff.
Südafrikanische Tafelberge 484.
Südamerikanische Vulkane 253.
Sudenburg bei Magdeburg 119.
Sudeten 358. 365. 367. 662.
Südsee, Vulkane 257.
Suez 378.
Suffolkküste 530.
Sukkussorische Erdbeben 303.
Sukutasteppe 376.
Sulphur-Bank 247.
Sulz am Neckar 119.
Sumatra 195. 223. 224.
Sumbawa 235—237.
Summerville 287.
Sunda-Inseln 223 ff.
Sunde 406.
Superga-Hügelgruppe 359.
Surtshellir, Lavagrotte 158.
Surturbrandr 196.
Suruga 239.
Susquehannah 492.
Süßwasserkalke 416. 596.
Sveinagja 199.
Sveinar 199.
Syene 110.
Syenite 276. 636. 650.
Sylt 574.
Synklinalen 54. 55. 346. 400.
Synklinalfalte 55.
Syrien 220. 576.
Szczawnica 494. 495.

Tabernakel-Krater 247.
Tabulaten 34. 40.
Tachylyt 161.
Tachylyttuff 196.
Tafelbrüche 343.
Tafeljura 358.
Tafelländer, tektonische Einbrüche 488.
Tafilelt-Oase 424.
Tahiti 257.
Talèfre-Gletscher 542.
Talk 447.
Talkschiefer 652. 656.
Taman-Halbinsel 444.
Tambora 225.
Tamina 474.
Tandurek 219.
Tanganjika 221. 376. 378. 379. 489.
Tantal in der Sonne 67.
Taranakiberg 264.
Taratza 310.
Tarawera 264—266. 279. 280. 434.
Tarczathal 494.
Tatra 566. 567.
Taunus 662. 669.
Taupofee 432.
Taupo-Zone 264. 266.
Tausendfüße 37.
Tegernsee 565. 566.
Tejo 526.
Tektonische Linien 10.
Teleki-Vulkan 221. 375.
Teleostier 43. 45.
Tellur in der Sonne 68.
Tellurische Kräfte 135.
Telok Betong 228.
Temboro 232. 235—237. 466.
Temenion 310.
Temperatur im Erdinneren 116. 119 bis 122.
Temperaturzunahme nach der Tiefe, ein Hindernis technischer Arbeiten 122—124.
— Ursachen 125—127.
Tempeschlucht 492.
Tenedos 215.
Teneriffa 204. 208.
— Pik von 27. 204.
Teplitz 270. 299. 426.
Terbium 68.
Terceira 203.
Terebratuliden 40. 43.
Terek 600.
Ternate 236.
Terrassen 12. 401. 404—406. 408. 411. 569.
— bei Hall 514.
— des Fraserflusses 515.
— in den höheren Alpenthälern 516.
— in Grönland und Norwegen 517.
— und Eiszeit 518.
Terrassenbildung 404. 405. 408. 516. 583.
— Ursachen 516—519.
Terra rossa 453. 454. 507.
Terremotos 286.
Terror 267.
Tertiärformation 33. 46.
Tessellaten 40.
Tetarata-Sprudel 435.
Tethys-Ozean 414. 415.
Tetongebirge 55.
Tetrakorallien 34.
Textularien 630.
Thalbildung 476 ff.
— abhängig vom Gebirgsbau 483. 489.
— abnorme 491.
— Daubrées Versuche 483.
— epigenetische 495.
— in Faltengebirgen 489 ff.
— Spaltentheorie 492.
— tektonische 491.
Thaldurchbrüche infolge von Deckeneinsturz 496.
Thäler 488—494.
— Seitenverlegung 491.
Thallium 66. 67.
Thalquellen 421.
Thalseen 566.
Thalsperren 474. 475.
Thalterrassen 514 ff.
Thalzirkusse 566.
Themse 526. 599.
Thera 215. 216. 218.
Therasia 215—218.
Thermalhypothese 384.
Thermen 425. 426.

Thermenlinie von Baden und Vöslau 360.
— von Wien 389. 390. 426.
Thingvalla-See 202.
Thjorsaa-Lava 106.
Thone 5. 447. 453. 593. 594. 632.
Thonerdesilikate 447. 594.
Thonglimmerschiefer 652.
Thonschiefer 22. 594. 652. 655.
Thonschlamm 592.
Thorium in der Sonne 67.
Thulium 68.
Thuner See 344. 476.
Thüringerwald 365. 367. 370. 662.
Tibesti-Gebirge 576.
Tiefseeablagerungen auf dem Festlande 414. 415.
Tiefseeforschungen 624. 625.
Tiefseereusen 626.
Tiefseeschlamm, roter 99. 414.
— weißer 628. 631.
Tiefseethon, roter 632.
Tiefseeuntersuchungen 619.
Tiënschan 219. 552.
Till 562.
Timor 237.
Timorlaut 237.
Tingafa 210.
Titan 67. 76. 103.
Titicacasee 256.
Tivoli 603.
Tobel 470. 471.
Tofua, Vulkan 192.
Tokay-Eperies-Linie 359. 360.
Tolima 253. 254. 280.
Tone-gawa 238.
Tonga-Inseln 266.
Torfa-Jökull 202.
Toroweap-Cañon 271.
Toroweapthal 247.
Torre dell' Annunziata 142. 145.
— del Greco 142. 143. 145—147.
Toscana 179. 360.
Tosima 242.
Totes Meer 375. 378. 488. 563. 600. 601.
Toulouser Berge 501.
Trabanten 62. 63.
Trachyt 4. 5. 163. 167. 194. 207. 273. 275. 636. 638. 644. 645. 650.
Transgressionen 57. 409. 413. 454.
Transport durch Gletscher 555 ff.
— im Mittellauf der Flüsse 478.
Transportfähigkeit d. Wassers 476 ff.
Trapp-Decken 269.
Trapp des Dekhan 222.
Traß 213.
Travertin 603.
Trebitzgrotte 503.
Tremblores 286.
Tremors 286.
Treppenbrüche 343.
Triasformation 33. 39. 415. 416.
Trichter 470.
Tridacna 615.
Tridymit in Meteoriten 104.
Triest 331.
Trifolietto 185.
Trigonien 43. 49.
Trilobiten 34. 36. 38. 661.
Tripel 633.
Tristan da Cunha 203.
Tritylodon 42.
Trockenthäler 584. 585.
Troilit 96. 104. 109.
Trölladyngja 202.
Trompetenmündung der Flüsse 526.
Tropfsteinbildungen 502.
Tropfsteine 602.
Tropfsteinhöhlen 584.
Tsadsee 203. 423. 563. 600.
Tschagos-Inseln 412.
Tschatyrkul 220.
Tschebuba 223.
Tscheleken-Insel 444.
Tscheribon 237.
Tschernaboura 243.
Tschernosem 452.
Tschesme 215.
Tschibtscharanya 221.
Tschikunir 234.
Tschingelberg 461. 464. 467.
Tschiwulan 234.
Tuat-Oase 424.
Tuffe 268. 430. 603.
Tuffvulkane 268.
Tugurt-Oasen 424.
Tukan (Sternbild) 61.
Tunguragua 255.
Turfane 220.
Turin 299.
Turkestan, Dünen 574.
Turkmenensteppe 598.
Turmalin 637. 638.
Turonstufe 362.
Tuskulaner Berg 180.
Tutukanberg 433.
Tuxtla, Vulkan von 248.
Tycho Brahes Stern 79.
Tyrrhenisches Meer 372.

Ualau 113.
Überfallsquellen 421.
Übergußschichtung 620.
Überkippung 54.
Überkritischer Erdkern 131.
Überlagerung 56. 57.
Überschiebung 347. 348.
Udine 300.
Ued Rir 424.
Uigfak, Eisenblöcke von 108.
Uinkaret-Plateau 247. 280. 283.
Ullahbund 401.
Umnakinsel 189.
Umsetzungen der Meere 408. 410.
Ungarisches Mittelgebirge 361.
Ungarische Tiefebene 372.
Unie 373.
Uniformitarismus 134.
Unsen, Berg 238.
Unst 528.
Untergrindelwaldgletscher 541.
Unterinnthal 559.
Unterirdische Flußläufe und Wasserbecken 501.
Untermeerische Rinnen 402.
Untersberg 501.
Upano 253.
Ural 600.
Uran in der Sonne 67.
Uranus 63. 80.
Urgebirge 594. 654. 655. 664.
Urschleim 629.
Urthonschiefer 652.
Urumtschi 220.
Utah 243. 484.
Uziglios Versuch 597.

Val Bregaglia 482.
Valle del Bove 185. 268.
Valomytika 311.
Valparaiso 256. 257.
Val Travignolo 276.
Vanadium in der Sonne 67.
Variskisches Gebirge 367. 368.
Vatikanisches Vorgebirge 393.
Vatna-Gletscher 201.
Vatnajökull 198.
Vega 60. 68.
— de Ugo 209.
Vegetation, Verwitterungsfaktor 451.
Velay 212.
Velber Tauern-Seen 567.
Velletri 300.
Venedig 300. 525. 606.
Ventotene 194. 294.
Venus 62. 78. 80.
— Atmosphäre 68.
Venus gallina im Kaspisee 563.
Verflächen der Schichten 53.
Vergletscherung 406. 408. 411. 540. 543. 552. 561. 562. 568.
Verlaaten 225. 231.
Verlegung der Flußläufe 519 ff.
Vernagtgletscher 544. 550. 564.
Verschiebungen 342. 344. 345.
Versteinerungen 13. 16.
— Altersverhältnis 33.
— in kristallinischen Gesteinen Norwegens 661.
Vertesgebirge 361.
Verwerfer 58.
Verwerfungen 10. 55. 57. 322. 341. 371. 388.
Verwitterung 451 ff. 580.
Verwitterungsformen 455.
Vesuv 84. 85. 135—152. 166. 168. 182.
Vesta 80. 90.
Vesuv, Eruption (vom Jahre 79 n. Chr.) 138; (in den Jahren 203, 472, 512, 685, 993, 1036, 1139, 1500, 1631) 141; (1794, 142—146; (1822, 1839, 1850) 1855, 1861) 146; (1872) 146 bis 148; (1885 u. 1891) 149.
— Flammenerscheinungen 152.
— Geschichte des 138. 171.
— Mineralbildungen 166.
— strombolianische Thätigkeit 148 bis 152.
— (vor dem Jahre 79) 138.
— wechselnde Höhe 140. 141.
Vesuvian 166.
Vesuvkrater 146. 150.

Vesuvtypus 270.
Vibrationen 300.
Victoria 264. 267.
Vienne 212.
Vikingasee 312.
Vikingavatn 312.
Virgation 361.
Virungu vya-gongo 222.
Visp 288.
Vivara 294.
Vivarais 212.
Vlakken Hoek 228.
Vögel mit Zähnen 49.
Vogelreste 44. 45.
Vogelsberg 212.
Vogesen 10. 277. 340. 357. 358. [365. 366. 500.
Voglarn 347.
Volcan de Agua 252.
— de Fuego 252.
Volcanello 190. 194.
Volcanitos von Turbaco 442.
Volcano 190. 193. 194.
Volterra 179.
Vorderindien 222.
Vordüne 574.
Vörösto-See 564.
Vorpermische Alpen 366.
Vöslau 360.
Vrains Creek in Colorado 11.
Vrana-See 506.
Vulcanello 394.
Vulcano 394.
Vulkane 5. 11. 27. 89. 135. 268. 270.
— Ergebnis der Abkühlung und Zusammenziehung der Erde
— Asiens 219. 220. [284.
— des Atlantischen Ozeans 210.
— in Australien 264.
— in Böhmen 214.
— in Deutschland 212. 213.
— Einteilung der 267 ff.
— Entfernung vom Meere 253.
— europäische (außeritalienische) 211 ff.
— Zusammenhang mit dem Gebirgsbau 282—284.
— an die Gebirgsketten und Senkungsfelder gebunden 321. 388.
— des Indischen Ozeans 222 ff.
— auf Island 196—203.
— auf Jan Mayen 203.
— in Japan 237—242.
— auf Java 233 ff.
— Lage am Meere 280 ff.
— lose Auswürflinge 165.
— in Mexiko 248.
— mittelitalienische 179 ff.
— des Mittelmeeres 214—218.
— Nordamerikas 243—252.
— Ostafrikas 220—222.
— in Österreich-Ungarn 214.
— reihenförmige Anordnung 195.
— und Senkungsfelder 282—284.
— Steilheit der 168.
— Gruppierung um den Stillen Ozean 195.
Vulkane im Stillen Ozean 257 ff.
— von Südamerika 253—256.
— Verteilung auf der Erde 195.
— Zahl der 267.
— in Zentralfrankreich 211. 212.
— Zerstörung der 270 ff.
Vulkanhypothesen 277 ff.
Vulkaninseln im Atlantischen Ozean 195 ff.
Vulkanische Asche 592.
— Auswurfsprodukte 152 ff.
— Erscheinungen, Ursachen 277 ff.
— Hebungen 170. 171.
— Stoffe im roten Tiefseethon 632.
— Tuffe 165.
Vulkanismus 89. 283.
Vulkanisten 23. 24. 643.
Vulkanologie 27.
Vulkanreihen 195.
Vulkans Thron 247.
Vultur 167. 183. 296.

Wachau 492.
Wadi Araba 378.
— Irharhar 584. 585.
— Natrun 423.
Wadis 584.
Wahsatch-Gebirge 388. 518.
Waihu 257.
Waikatothal 432. 433.
Waikoroihi-Geiser 440.
Waldarmut der Karstländer 508.
Wallisthal 489.
Wallriffe 616.
Wärmezunahme nach der Tiefe 116 u. ff.
— Ursachen u. Quellen 125—127.
Washington 243. 268.
Wasserbeschaffung 422.
Wasserdampfexplosionen 232.
Wasser, Denudationsarbeit 496.
— Wirkung 12. 446 ff.
Wasserfälle 478.
Wasserführung der Schichten 422. 423.
Wassermenge in den Meeren 417.
Wasserniveau 421. 422.
Wasserscheide, Erniedrigung 482.
Wasserstoff 67. 68. 70. 76.
Weald-Flüsse 496.
Wechsel 347.
Wechselbeben 392.
Wega 68.
Weichsel, alter Lauf 520.
Weichtiere 34.
Weiden-Bodenmühl-Spalte 371.
Weinfelder Maar 213.
Wellenfurchen 595.
Wellington-Insel 256.
Wembere-Graben 378.
Wenersee 563.
Weser 526.
Westalpen, einseitiger Bau 359.
Westerwald 212.
Westindische Inseln 161.
Wetterhorn 349.
Wetterlöcher 453. 547.
Wettersee 563.
Wettersteingebirge 9.
Whakarewarewa-Geiser 440.
Whakari 264.
Whin Sill 274.
White Island 264.
Wick 528.
Widmanstättensche Figuren 91. 105.
Wieliczka 359.
Wien 331.
Wiener Becken, Senkung 360. 372. 390. 469.
— Thermenlinie 426.
Wiesbaden, Kochbrunnen 426.
Wildbäche 469. 470.
Wildbachverbauung 474. 475.
Wind, Wirkung 573 ff.
Winnipegosis-See 411.
Winnipeg-See 411.
Wirbelkolke 480.
Wirbelstürme 317.
Wirbeltiere 36. 38. 40.
Wisconsin 388.
Wolfram in der Sonne 67.
Wolga 478. 600.
Wollastonit 166.
Wurmgänge 595.
Wüste, nordamerikanische 576.
Wüstenbildung 575 ff.
Wyoming 458.

Xiropigadi 289.

Yaisa 208—210.
Yali, Insel 218.
Yellowstonepark 161. 426. 432. 437—441. 605.
Yellowstone River 158. 161.
Yttrium in der Sonne 67.
Yunotake 242.

Zabodaci 373.
Zamora 248.
Zanone 194.
Zara Vecchia-See 506.
Zechstein 38. 366.
Zeni, Rhyolithberg 218.
Zentralkerne, Wirkung 356.
Zentralplateau von Frankreich 357. 365. 500.
Zentralsonne 61.
Zentralvulkane 195.
Zentralzone der Alpen 359.
Zeugen, Inselberge 577. 583.
Zeybehar-Inseln 220.
Zia 372.
Zillerthal 489.
Zink 67. 103.
Zinn 67. 103.
Zirknitzer See 506.
Zirkonium in der Sonne 67.
Zirkusthäler 584.
Zuger See 468.
Zuni-Plateau 270.
Zuquala, Vulkan 221.
Züricher See 569.
Zwillinge 68. 641.

Autoren-Register.

Abbot, H. 332.
Abich 164. 171. 444. 460. 466.
Agaſſiz 6. 30. 541. 542. 557. 609.
Agricola 16.
Airy 131.
Albertus Magnus 16.
Alexandro, Alexander ab 17.
Amati 141.
Anaximander 15.
Angelot 278.
Angſtröm 67.
Archimedes 110.
Arctander 406.
Arduino 21.
Argelander 79. 300.
Ariſtoteles 15. 174.
Armſtrong, William 123.
Aubuiſſon, d' 117.
Avicenna 16.

Baer, K. E. v. 519. 598.
Baeyer 112.
Bailly 115.
Baldacci 296.
Baltzer 348. 349. 546. 569. 669.
Barnard 80.
Barrande 35.
Barrois, Ch. 657.
Bary, de 584.
Baumann, O. 376—378.
Bayer 17.
Beaumont, Elie de 20. 29. 30. 167. 168. 353—355. 371. 477.
Beccari 623.
Bechler 495.
Benecke 371.
Berendt 519. 575.
Bertrand, M. 348.
Beſſel 112.
Bezold, W. v. 9. 232.
Biot 91. 93.
Birmingham, John 79.
Biſchoff, Guſtav 30. 125. 431. 597. 644. 668.
Bittner 390.
Blanckenhorn 379.
Bodmer 516.
Boerhave 117.
Bouguer 112. 253.
Bouſſingault 152.
Bouvilles 474.
Brahe, Tycho 79.
Bravais 410.
Breislak 172.
Brezina 96.
Brongniart 3. 25. 28.
Brückner, E. 365. 411. 551. 588.
Buch, Leopold v. 21. 24. 26—29. 142. 162. 166. 195. 203. 205. 207. 208. 223. 276. 398. 413. 634. 635.
Büchner, O. 424.
Buckland 25.
Buffon 21.
Bunſen 64-66. 163. 164. 431.
Burkart 250.
Buß 465.
Bütſchli 627.

Carpenter 85—87. 625. 658.
Carter 388.
Caſſini 112.
Cavendiſh 115.
Celſius 399. 411.
Cernik 317.
Chamiſſo 257.
Charpentier 30.
Chladni 94. 106.
Chriſtomanos 289.
Clairault 112.
Clarke 113.
Cloizeaux, des 431.
Cohen 193. 371.
Colonna, Fabio 18. 19.
Columbus 110.
Condamine, La 112. 253.
Conte, Le 243.
Cook 438. 613.
Cordier 128.
Cornet 118.
Cornu 115.
Credner, H. 469. 672.
Curbeta, Andrea Lorenzo 208.
Cuvier 3. 25. 26. 28—30. 354.

Dames 46.
Dana 156. 162. 170. 244. 257—263. 279. 281—283. 413. 445. 612. 613. 616. 619. 620. 635.
Dante 462.
Darwin 15. 210. 257. 325. 402. 452. 613—617. 619. 620. 628. 661.
G. 130.
Daubrée 96. 105. 278. 483. 647. 654. 664.
Daviſon 313.
Dawſon 658.
Dechen, v. 118.
Deecke, W. 165. 178.
Deffner 372.
Descartes 128.
Deſor 47. 48.
Diener 379.
Dieulafoy, M. 600.
Diller, J. S. 245.
Ditmar, v. 242.
Dollo 48.
Dolomieu 442. 634.
Dölter 194. 210.
Doß, B. 95.
Drayton 260.
Dufrenoy 29. 166.
Dunker 120.
Dutton, Ch. 153. 170. 247. 259. 262. 270. 271. 323. 331. 333. 334. 338. 379. 385—387. 476. 484. 487.

Emin Paſcha 222.
Endlich 274.
Eratoſthenes 110. 111.
Eſcher von der Linth 30. 186.
Ewing 335.

Fabricius 70.
Falconi, Marco Antonio degli 174. 176.
Fallopio 16.
Favre, Alphonſe 363.
Faye 131.
Felix 248. 251.
Fernel 111.
Ferzenaar 225.
Fiſcher, P. 113.
— O. 131.
Fitton 25.
Folſom 438.
Forbes 542.
— E. 624.
Forchhammer 575.
Forel 287.
Forſter, Reinhold 613.
Fouqué 154. 214. 216. 217. 332. 644.
Fourier 128.
Fraas, Oskar 372. 614. 616.
Fracaſtoro 18.
Franco, P. 140.
Fraunhofer 66.
Freiesleben 117
Fritſch 218.
— A. 39.

Fuchs, C. W. C. 187. 253. 267. 270. 287. 312. 324.
— Th. 469. 595.
Füchsel 21. 22.
Fugger 501.

Galilei 70.
Gaudry 49.
Gauß 62.
Geer, G. de 410.
Geikie, A. 243. 271. 275. 413. 567. 568. 570.
Geinitz 315.
Gemmellaro 185.
Gilbert 246. 272—274. 582.
Giordano 120.
Girard 519.
Goethe 214.
Goldfuß 36. 611.
Goldschmidt, V. 97.
Gosselet 670.
Graham 104.
Gray 335. 336.
Green 10.
Grewingk 190.
Griesbach, C. L. 323. 343.
Guettard 21.
Gümbel, W. v. 350. 370. 443. 446. 609. 630. 655. 656.
Güßfeldt 256.

Haeckel 628.
Haidinger 98.
Hall, James 24. 256.
Hamel 542.
Hamilton 146. 270.
Hann, J. 126. 229. 538.
Haraba, Toyokitsi 240—242.
Harkneß 116.
Harriot 70.
Hartung 167. 207.
Hayden 5. 11. 51. 55—57. 438. 593. 636.
Hayes, C. W. 345. 348. 351.
Heim 124. 146. 148. 287. 331. 344. 347. 349—351. 382. 461. 463—467. 474. 482. 496. 497. 516. 541. 549. 569.
Helland, J. A. 196—198.
Helmert 114.
Helmholtz 78. 549.
Herodot 15.
Herschel, W. 59.
Hibsch 276.
Hochstetter, F. v. 168. 169. 264. 270. 432. 434. 618. 619.
Höhnel 376.
Hoff 30. 134. 298. 299. 355. 492.
Hofmann, Friedrich 28. 186. 442.
Holden 70.
Holmes 9. 273.
Homer 93.
Hooke 21.
Hopkins 128—130.
Horner 233.
Horsfield 233.
Huggins 60.
Hugi 542.
Humboldt, Alexander v. 21. 24. 29. 100. 117. 152. 157. 166. 167. 192. 219. 249. 253. 285. 308. 313. 442.
Hutton 23. 115. 266. 643. 667.
Huygens 112.
Huyssen 121.

Ibn Sina 16.
Iddings 158.
Igelström 660.
Ives 484. 486.

James 115.
Jeffreys, Gwyn 625.
Jesse 231.
John, St. 55.
Johnstrup 196.
Jolly 116.
Jonasson, Hallgrimur 200.
Jorge, Don Juan 253.
Judd 162. 225. 227. 228. 275. 276. 279.
Junghuhn 170. 233—235. 237.

Kant 63.
Kastner 501.
Kaufmann 344.
Keilhack 196. 197. 202.
Kelvin, Lord 130.
Kepler 62.
Kick, F. 350.
Kießling 232.
Kikuchi, Y. 239.
King 456. 498. 591. 601. 646.
Kircher, Athanasius 17. 20. 117.
Kirchhoff 64—67. 76. 77.
Kleomedes 110.
Kluge 287.
Kobelt 373.
Koch, G. A. 471.
Kotô, B. 321. 322.
Krapotkin, Fürst 220.
Krug von Nidda 431.
Krümmel 417.
Kunth 38.
Küstner 301.

Laplace 63. 128.
Lapparent, A. de 588.
Lasaulx, von 296. 304. 313. 330. 332. 335. 442.
Laube 406.
Lavoisier 117.
Lebour 274.
Lehmann 22.
Leibniz 18. 19. 128.
Lenk 248. 251.
Leonardo da Vinci 18.
Leverrier 62. 63.
Libert, J. 118.
Lindström 532.
Linné 21. 398. 411.
Lipold 450.
Lockyer, J. 67. 103. 232.
Lóczy, L. v. 161.
Logan 369. 657. 658.
Lory, Ch. 124. 363.
Lossen 668. 669.
Lyell 28. 30. 134. 168. 170. 174. 277. 355. 413. 492. 573.

Mach 95.
Mackenzie 431.
Magalhães 110.
Mairan 117.
Mallet 130. 278. 302. 303. 327—329. 330. 332.
Mamun 111.
Mandelsloh, Graf 118.
Mantell 25.
Marchesetti 373.
Marsh 47.
Martin, Jules 542.
Martins, Charles 557.
Maskelyne 115.
Maupertuis 112.
Mellard-Reade, R. 383. 587.
Mercalli 192. 194. 296.
Meunier 105.
Meyer, Hans 376. 377.
— Tobias 71.
Michel-Lévy 332. 644.
Milne, John 238. 286. 313. 315. 332. 335. 336.
Mitchell 21.
Möbius 659. 660.
Möller 39.
Mojsisovics 41. 52. 622.
Monaco, Fürst Albert von 625.
Montessus de Ballore 324. 325.
Mühlberg 348.
Murchison 28. 499.
Muschketow 220.

Nansen, F. 552.
Nasmyth 85—87.
Nathorst 108. 162. 403. 405. 533.
Natterer 77.
Naumann, E. 238. 240.
Nero, Francesco del 174.
Newberry 484.
Newton 62. 64. 112. 130.
Nies 130.
Nordenskjöld 108. 109. 530. 553. 554. 571.

Oken 629.
Olmsted 101.
Omori 336.
Orosius 17.
Ovid 169.
Owen, R. 42.

Packe 21.
Palissy 18.
Pallas 106.
Palmer 101.
Palmieri 284. 296.
Pander 38.
Parmenides 110.
Partsch, P. 313.
Payer 572.
Paynting 116.
Peale 54.
Peary, R. 552.
Penck 367. 469. 482. 517. 565. 587.
Perrey 319. 324.

Peters 61.
Philippi, E. 186. 402.
Phillips 25.
Piazzi 62.
Picard 111.
Pickering 81.
Pieschel 249.
Pilar 503. 504.
Playfair 24. 28. 398. 413.
Plinius 138. 139. 444.
Poisson 129.
Powell 341.
Pratt 130.
Prestwich 118.
Prevost, Constantin 170. 355.
Preyer 429.
Procopius 141.
Ptolemäos 110.
Pythagoras 15. 110.

Quenstedt 45.

Ramsay 560.
Rath, G. vom 146. 157. 294. 307.
Ray 21.
Reade, M. 383. 587.
Rebeur-Paschwitz 130.
Reich 115. 118.
Reiß 207. 254.
Renevier 124.
Reusch 349. 661.
Reyer, E. 130. 198. 251. 269—271. 278. 334. 349. 351.
Riccò 187. 188.
Richardson 25.
Richer 111.
Richter, E. 462. 550.
Richthofen, F. v. 163. 268. 278. 454. 491. 511—513. 535. 575.
Ritter 131.
Römer, F. 38. 39.
Rose, Gustav 104.
Rosenbusch 662.
Roß 218. 267.
Rossi, de 139. 296. 332.
Roth, J. 192.
Rowland, H. A. 67.
Rudolph, E. 190. 314.
Russel, J. C. 246.

Sandberger 37. 430.
Sars 625.
Sartorius von Waltershausen 8. 164. 181—185. 429. 442. 644.
Saussure 23. 117. 251. 352. 540. 542.
Scacchi 151. 157.
Schapelmann, Johann 117.
Schardt, H. 342.
Schaubach 308.
Scheiner 70.
Schellen, H. 102.
Scheuchzer 17. 18.
Schiaparelli 80—82. 100. 101.
Schimper 30.
Schlagintweit 546.
Schmidt, A. 77. 302. 331. 332. 334.
— Julius 79. 84. 85. 98. 288. 300. 308. 309. 324. 330.
Schuhmacher 330.
Schultze, Max 623.
Schulz 187.
Schulze 38.
Schwabe 71.
Schwarz 307.
Scrope, Poulett 11. 28. 140. 152. 153. 168—171. 194. 251.
Secchi 68. 71—78.
Seckendorf, A. v. 475.
Sedgwick 28.
Seebach, E. v. 252. 253. 269. 292.
Seeliger 79. [330. 335.
Sekiya, S. 239. 336.
Semenow 220.
Serpieri 296.
Sieger, R. 411.
Siemens 130. 152.
Silvestri 129. 185. 443.
Smith, Lawrence 105.
— William 24. 25. 28.
Snellius 111.
Sollas 45.
Sommer 147. 148. 150.
Sorby 640.
Spada 18.
Spener 18.
Spring, W. 350. 671.
Stapff 120. 121. 124. 329. 350. 516.
Steenstrup 109.
Steinmann, G. 358. 368.
Steno 18. 19.
Sterneck, R. v. 114. 116.
Stevenson 476.
Stöhr 443.
Stoliczka 220.
Strachey 229.
Stübel 254.
Studer, B. 30. 344. 359.
Stuhlmann 222.
Stütz 94.
Sueß, E. 176. 181. 220. 270. 271. 276. 277. 296. 312. 316. 318. 321. 345. 347. 348. 357. 361. 367. 368. 370. 375—379. 382. 389. 392—394. 396—400. 402. 408—410. 414.
Taramelli 124.
Teleki, Graf 376.
Thomas, A. P. W. 265.
Thomson, William 7. 126. 127. 130. 131. 221. 549.
— Wyville 608. 621. 625. 629.
Thoroddsen, Th. 196—200. 202. 203. 269. 312.
Tietze 170.
Topley 274.
Torell 625.
Townsend 25.
Trautschold 453.
Tschermak 278. 641.
Tyndall 542. 549. 560.

Uzielio, d' 597. 599.

Vallisneri 18.
Velain 177. 222. 223.
Venetz 30.
Verbeek 224. 225. 227. 229—231. 237. 279.
Verne, Jules 83.
Vogel, H. C. 60. 68. 69. 90.
Voigt 23.
Volger, Otto 419. 420.

Wagener 335.
Wähner 331. 337.
Wahnschaffe, F. 520.
Wallace 413.
Walther, J. 579—581. 635.
Weinek, L. 86.
Weiß, E. 100. 102.
Werner, Gottlob Abraham 3. 21. 22. 24. 277. 352. 353. 450. 643. 663.
Weyprecht 572.
Wheeler 119.
Whitney 331.
Wiedersheim 40.
Willis, B. 348. 351.
Wilsing 116.
Wisse, Sebastian 192. 254.
Wolf 254. 255.
Wollaston 66.
Woodward 17. 37.
Wünsch, J. 508.
Wynne 331.
Wyß 464.

Zaym 463.
Zirkel, F. 429. 640. 643.
Zittel 425. 561. 579. 584. 630. 631.
Zöllner 76.
Zöppritz 131.

Druck vom Bibliographischen Institut in Leipzig.

Verlag des Bibliographischen Instituts in Leipzig.

Enzyklopädische Werke.

	M.	Pf.
Meyers Grosses Konversations-Lexikon, *sechste, gänzlich neubearbeitete und vermehrte Auflage.* Mit mehr als 11,000 Abbildungen, Karten und Plänen im Text und auf über 1400 Illustrationstafeln (darunter etwa 190 Farbendrucktafeln und 300 Kartenbeilagen) sowie 130 Textbeilagen. (Im Erscheinen.)		
Geheftet, in 320 Lieferungen zu je 50 Pf. — Gebunden, in 20 Halblederbänden . . . . .je	10	—
Gebunden, in 20 Liebhaber-Halblederbänden, Prachtausgabe . . . . . .je	12	—
Meyers Kleines Konversations-Lexikon, *sechste, umgearbeitete Auflage.* Mit 168 Illustrationstafeln (darunter 26 Farbendrucktafeln und 56 Karten und Pläne) und 88 Textbeilagen.		
Geheftet, in 80 Lieferungen zu je 30 Pf. — Gebunden, in 3 Halblederbänden. . . . . .je	10	—

Naturgeschichtliche Werke.

	M.	Pf.
Brehms Tierleben, *dritte, neubearbeitete Auflage.* Mit 1910 Abbildungen im Text, 11 Karten und 180 Tafeln in Holzschnitt und Farbendruck.		
Geheftet, in 180 Lieferungen zu je 1 Mk. — Gebunden, in 10 Halblederbänden. . . . .je	15	—
(Bd. I—III »Säugetiere« — Bd. IV—VI »Vögel« — Bd. VII »Kriechtiere und Lurche« — Bd. VIII »Fische« — Bd. IX »Insekten« — Bd. X »Niedere Tiere«.)		
Gesamtregister zu Brehms Tierleben, 3. Auflage.		
Gebunden, in Leinwand	3	—
Brehms Tierleben, Kleine Ausgabe für Volk und Schule. *Zweite, von R. Schmidtlein neubearbeitete Auflage.* Mit 1179 Abbildungen im Text, 1 Karte und 19 Farbendrucktafeln.		
Geheftet, in 58 Lieferungen zu je 50 Pf. — Gebunden, in 3 Halblederbänden . . . . .je	10	—
Die Schöpfung der Tierwelt, von Dr. ***Wilh. Haacke.*** (Ergänzungsband zu »Brehms Tierleben«.) Mit 469 Abbildungen im Text und auf 20 Tafeln in Holzschnitt und Farbendruck und 1 Karte.		
Geheftet, in 13 Lieferungen zu je 1 Mk. — Gebunden, in Halbleder	15	—
Der Mensch, von Prof. Dr. ***Joh. Ranke.*** *Zweite, neubearbeitete Auflage.* Mit 1398 Abbildungen im Text, 6 Karten und 35 Farbendrucktafeln.		
Geheftet, in 26 Lieferungen zu je 1 Mk. — Gebunden, in 2 Halblederbänden . . . . .je	15	—
Völkerkunde, von Prof. Dr. ***Friedr. Ratzel.*** *Zweite Auflage.* Mit 1103 Abbildungen im Text, 6 Karten und 56 Tafeln in Holzschnitt und Farbendruck.		
Geheftet, in 28 Lieferungen zu je 1 Mk. — Gebunden, in 2 Halblederbänden . . . . .je	16	—
Pflanzenleben, von Prof. Dr. ***A. Kerner von Marilaun.*** *Zweite, neubearbeitete Auflage.* Mit 448 Abbildungen im Text, 1 Karte und 64 Tafeln in Holzschnitt und Farbendruck.		
Geheftet, in 28 Lieferungen zu je 1 Mk. — Gebunden, in 2 Halblederbänden. . . . . .je	16	—
Erdgeschichte, von Prof. Dr. ***Melchior Neumayr.*** *Zweite, von Prof. Dr. V. Uhlig neubearbeitete Auflage.* Mit 873 Abbildungen im Text, 4 Karten und 34 Tafeln in Holzschnitt und Farbendruck.		
Geheftet, in 28 Lieferungen zu je 1 Mk. — Gebunden, in 2 Halblederbänden. . . . . .je	16	—
Das Weltgebäude. Eine gemeinverständliche Himmelskunde. Von Dr. ***M. Wilhelm Meyer.*** Mit 287 Abbildungen im Text, 10 Karten und 31 Tafeln in Holzschnitt, Heliogravüre und Farbendruck.		
Geheftet, in 14 Lieferungen zu je 1 Mk. — Gebunden, in Halbleder	16	—
Die Naturkräfte. Ein Weltbild der physikalischen und chemischen Erscheinungen. Von Dr. ***M. Wilhelm Meyer.*** Mit 474 Abbildungen im Text und 29 Tafeln in Holzschnitt, Ätzung und Farbendruck.		
Geheftet, in 15 Lieferungen zu je 1 Mk. — Gebunden, in Halbleder	17	—

Ausführliche Prospekte zu den einzelnen Werken stehen kostenfrei zur Verfügung.

	M.	Pf.
Bilder-Atlas zur Zoologie der Säugetiere, von Professor Dr. ***W. Marshall.*** Beschreib. Text mit 258 Abbildungen. Gebunden, in Leinwand	2	50
Bilder-Atlas zur Zoologie der Vögel, von Professor Dr. ***W. Marshall.*** Beschreibender Text mit 238 Abbildungen. Gebunden, in Leinwand . .	2	50
Bilder-Atlas zur Zoologie der Fische, Lurche und Kriechtiere, von Prof. Dr. ***W. Marshall.*** Beschreibender Text mit 208 Abbildungen. Gebunden, in Leinwand	2	50
Bilder-Atlas zur Zoologie der Niederen Tiere, von Prof. Dr. ***W. Marshall.*** Beschreib. Text mit 292 Abbildungen. Gebunden, in Leinw.	2	50
Bilder-Atlas zur Pflanzengeographie, von Dr. ***Moritz Kronfeld.*** Beschreibender Text mit 216 Abbildungen. Gebunden, in Leinwand . . .	2	50
Kunstformen der Natur. 100 Tafeln in Ätzung und Farbendruck mit beschreibendem Text von Prof. Dr. ***Ernst Haeckel.*** In zwei eleganten Sammelkasten 37,50 Mk. — In Leinen gebunden	35	—

Geographische und Kartenwerke.

	M.	Pf.
Die Erde und das Leben. Eine vergleichende Erdkunde. Von Prof. Dr. ***Friedrich Ratzel.*** Mit 487 Abbildungen im Text, 21 Kartenbeilagen und 46 Tafeln in Holzschnitt, Ätzung und Farbendruck. Geheftet, in 30 Lieferungen zu je 1 Mk. — Gebunden, in 2 Halblederbänden . . . . . je	17	—
Afrika. Zweite, von Prof. Dr. ***Friedr. Hahn*** umgearbeitete Auflage. Mit 173 Abbildungen im Text, 11 Karten und 21 Tafeln in Holzschnitt, Ätzung und Farbendruck. Geheftet, in 15 Lieferungen zu je 1 Mk. — Gebunden, in Halbleder . .	17	—
Australien, Ozeanien und Polarländer, von Prof. Dr. ***Wilh. Sievers*** und Prof. Dr. ***W. Kükenthal.*** Zweite, neubearbeitete Auflage. Mit 198 Abbildungen im Text, 14 Karten und 24 Tafeln in Holzschnitt, Ätzung und Farbendruck. Geheftet, in 15 Lieferungen zu je 1 Mk. — Gebunden, in Halbleder	17	—
Süd- und Mittelamerika, von Prof. Dr. ***Wilh. Sievers.*** *Zweite, neubearbeitete Auflage.* Mit 144 Abbildungen im Text, 11 Karten und 20 Tafeln in Holzschnitt, Ätzung und Farbendruck. Geheftet, in 14 Lieferungen zu je 1 Mk. — Gebunden, in Halbleder	16	—
Nordamerika, von Dr. ***Emil Deckert.*** *Zweite, neubearbeitete Auflage.* Mit 130 Abbildungen im Text, 12 Karten und 21 Tafeln in Holzschnitt, Ätzung und Farbendruck. Geheftet, in 14 Lieferungen zu je 1 Mk. — Gebunden, in Halbleder	16	—
Asien, von Prof. Dr. ***Wilh. Sievers.*** Zweite, neubearbeitete Auflage. Mit 167 Abbildungen im Text, 16 Karten und 20 Tafeln in Holzschnitt und Farbendruck. Geheftet, in 15 Lieferungen zu je 1 Mk. — Gebunden, in Halbleder	17	—
Europa, von Dr. ***A. Philippson*** und Prof. Dr. ***L. Neumann.*** Mit 166 Abbildungen im Text, 14 Karten und 28 Tafeln in Holzschnitt und Farbendruck. Geheftet, in 14 Lieferungen zu je 1 Mk. — Gebunden, in Halbleder	16	—
Meyers Hand-Atlas. *Dritte Auflage.* Mit 115 Kartenblättern und 5 Textbeilagen. *(Im Erscheinen.)*		
Ausgabe A. Ohne Namenregister. 28 Lieferungen zu je 30 Pf., oder in Leinen gebunden	10	—
Ausgabe B. Mit Namenregister sämtl. Karten. 40 Liefgn. zu je 30 Pf., oder in Halbleder geb.	15	—
Neumanns Orts- und Verkehrslexikon des Deutschen Reichs. *Vierte, neubearbeitete Auflage.* Mit 1 politischen, 1 Verkehrskarte und 40 Städteplänen nebst Straßenverzeichnissen. (Im Erscheinen.) Geb. in Halbleder	18	50
Gebunden, in 2 Leinenbänden	19	—
Bilder-Atlas zur Geographie von Europa, von Dr. ***A. Geistbeck.*** Beschreibender Text mit 233 Abbildungen. Gebunden, in Leinwand . . .	2	25
Bilder-Atlas zur Geographie der aussereuropäischen Erdteile, von Dr. ***A. Geistbeck.*** Beschreibender Text mit 314 Abbild. Gebunden, in Leinwand	2	75

	M.	Pf.
Kriegskarte von Japan, Korea, Ost-China und der Mandschurei, nebst größeren Spezialdarstellungen des Gelben Meeres mit Golf von Tschili, des russischen Gebiets auf der Halbinsel Liau-tung sowie Plänen von Port Arthur, Tokio und Yokohama. Von ***P. Krauss.*** Maßstab 1:5,000,000. In Oktav gefalzt und in Umschlag 80 Pf. — Auf Leinwand gespannt mit Ringen zum Aufhängen	2	—
Verkehrs- und Reisekarte von Deutschland nebst Spezialdarstellungen des rheinisch-westfälischen Industriegebiets u. des südwestlichen Sachsens sowie zahlreichen Nebenkarten. Von ***P. Krauss.*** Maßstab: 1:1,500,000. In Oktav gefalzt und in Umschlag 1 Mk. — Auf Leinwand gespannt mit Stäben zum Aufhängen	2	25

Welt- und kulturgeschichtliche Werke.

	M.	Pf.
Das Deutsche Volkstum, unter Mitarbeit hervorragender Fachgelehrter herausgegeben von Prof. Dr. ***Hans Meyer.*** *Zweite, neubearbeitete Auflage.* Mit 1 Karte und 43 Tafeln in Holzschnitt, Ätzung und Farbendruck. Geheftet, in 16 Lieferungen zu je 1 Mk. — Geb., in 2 Leinenbänden zu je 9,50 Mk., – in 1 Halblederband	18	—
Weltgeschichte, unter Mitarbeit hervorragender Fachmänner herausgegeben von Dr. ***Hans F. Helmolt.*** Mit 51 Karten und 170 Tafeln in Holzschnitt, Ätzung und Farbendruck. (Im Erscheinen.) Geheftet, in 18 Halbbänden zu je 4 Mk. — Gebunden, in 9 Halblederbänden . . . . . je	10	—
Urgeschichte der Kultur, von Dr. ***Heinr. Schurtz.*** Mit 434 Abbildungen im Text, 1 Karte u. 23 Tafeln in Holzschnitt, Tonätzung u. Farbendruck. Geheftet, in 15 Lieferungen zu je 1 Mk. — Gebunden, in Halbleder	17	—
Geschichte der deutschen Kultur, von Dr. ***Georg Steinhausen.*** Mit 205 Abbildungen im Text und 22 Tafeln in Kupferätzung und Farbendruck. Geheftet, in 15 Lieferungen zu je 1 Mk. — Gebunden, in Halbleder	17	—
Natur und Arbeit. Eine allgemeine Wirtschaftskunde. Von Prof. Dr. ***Alwin Oppel.*** Mit 218 Abbildungen im Text, 23 Kartenbeilagen u. 24 Bildertafeln in Holzschnitt, Ätzung u. Farbendruck. 18 Lieferungen zu je 1 Mk. — 2 Bde., in Leinen geb. je	10	—
Gebunden, in Halbleder	20	—

Literar- und kunstgeschichtliche Werke.

	M.	Pf.
Geschichte der antiken Literatur, von ***Jakob Mähly.*** 2 Teile in einem Band. Gebunden, in Leinwand 3,50 Mk. — Gebunden, in Halbleder	5	25
Geschichte der deutschen Literatur, von Prof. Dr. ***Friedr. Vogt*** u. Prof. Dr. ***Max Koch.*** *Zweite, neubearbeitete Auflage.* Mit 165 Abbildungen im Text, 27 Tafeln in Holzschnitt, Kupferstich und Farbendruck, 2 Buchdruck- und 32 Faksimilebeilagen. Geheftet, in 16 Lieferungen zu je 1 Mk. — Gebunden, in 2 Halblederbänden . . . . . je	10	—
Geschichte der englischen Literatur, von Prof. Dr. ***Rich. Walker.*** Mit 162 Abbildungen im Text, 25 Tafeln in Holzschnitt, Kupferstich und Farbendruck und 11 Faksimilebeilagen. Geheftet, in 14 Lieferungen zu je 1 Mk. — Gebunden, in Halbleder	16	—
Geschichte der italienischen Literatur, von Prof. Dr. ***B. Wiese*** u. Prof. Dr. ***E. Percopo.*** Mit 158 Abbildungen im Text und 31 Tafeln in Holzschnitt, Kupferätzung und Farbendruck und 8 Faksimilebeilagen. Geheftet, in 14 Lieferungen zu je 1 Mk. — Gebunden, in Halbleder	16	—
Geschichte der französischen Literatur, von Professor Dr. ***Hermann Suchier*** und Prof. Dr. ***Adolf Birch-Hirschfeld.*** Mit 143 Abbildungen im Text, 23 Tafeln in Holzschnitt, Kupferätzung und Farbendruck und 12 Faksimilebeilagen. Geheftet, in 14 Lieferungen zu je 1 Mk. — Gebunden, in Halbleder	16	—
Geschichte der Kunst aller Zeiten und Völker, von Prof. Dr. ***Karl Woermann.*** Mit etwa 1300 Abbildungen im Text und 130 Tafeln in Holzschnitt, Tonätzung und Farbendruck. (Im Erscheinen.) Gebunden, in 3 Halblederbänden . . . . . je	17	—

Meyers Klassiker-Ausgaben.

In Leinwand-Einband; für feinsten Halbleder-Einband sind die Preise um die Hälfte höher.

	M.	Pf.
Deutsche Literatur.		
Arnim, herausg. von *J. Dohmke*, 1 Band	2	—
Brentano, herausg. von *J. Dohmke*, 1 Band	2	—
Bürger, herausg. von *A. E. Berger*, 1 Band	2	—
Chamisso, herausg. von *H. Kurz*, 2 Bände	4	—
Eichendorff, herausg. von *R. Dietze*, 2 Bände	4	—
Gellert, herausg. von *A. Schullerus*, 1 Band	2	—
Goethe, herausg. von *K. Heinemann*, kleine Ausgabe in 15 Bänden	30	—
— gr. Ausg. in 30 Bdn. (Im Erscheinen.) je	2	—
Grillparzer, herausg. v. *R. Franz*, 5 Bände	10	—
Hauff, herausg. von *M. Mendheim*, 4 Bände	8	—
Hebbel, herausg. von *K. Zeiß*, 4 Bände	8	—
Heine, herausg. von *E. Elster*, 7 Bände	16	—
Herder, herausg. von *Th. Matthias*, 5 Bände	10	—
E. T. A. Hoffmann, hrsg. v. *V. Schweitzer*, 3 Bde.	6	—
Kleist, herausgeg. von *E. Schmidt*, 5 Bände	10	—
Körner, herausg. von *H. Zimmer*, 2 Bände	4	—
Lenau, herausg. von *C. Hepp*, 2 Bände	4	—
Lessing, herausg. von *F. Bornmüller*, 5 Bde.	12	—
O. Ludwig, herausg. von *V. Schweizer*, 3 Bände	6	—
Novalis u. Fouqué, herausg. v. *J. Dohmke*, 1 Bd.	2	—
Platen, herausgeg. von *G. A. Wolff u. V. Schweizer*, 2 Bände	4	—
Reuter, herausg. von *W. Seelmann*, 5 Bände	10	—
Rückert, herausg. von *G. Ellinger*, 2 Bände	4	—
Schiller, herausg. v. *L. Bellermann*, kleine Ausgabe in 8 Bänden	16	—
— große Ausgabe in 14 Bänden	28	—
Tieck, herausgeg. von *G. L. Klee*, 3 Bände	6	—
Uhland, herausgeg. von *L. Fränkel*, 2 Bände	4	—
Wieland, herausgeg. von *G. L. Klee*, 4 Bände	8	—
Englische Literatur.		
Altenglisches Theater, v. *Robert Prölß*, 2 Bde	4	50
Burns, Lieder und Balladen, von *K. Bartsch*	1	50
Byron, Werke, *Strodtmann*sche Ausgabe, 4 Bände	8	—
Chaucer, Canterbury-Geschichten, von *W. Hertzberg*	2	50
Defoe, Robinson Crusoe, von *K. Altmüller*	1	50
Goldsmith, Der Landprediger, von *K. Eitner*	1	25
Milton, Das verlorne Paradies, von *K. Eitner*	1	50
Scott, Das Fräulein vom See, von *H. Viehoff*	1	—
Shakespeare, *Schlegel-Tieck*sche Übersetzg. Bearb. von *A. Brandl*. 10 Bde.	20	—
Shelley, Ausg. Dichtungen, v. *Ad. Strodtmann*	1	50
Sterne, Die empfindsame Reise, v. *K. Eitner*	1	25
— Tristram Shandy, von *F. A. Gelbcke*	2	—
Tennyson, Ausgewählte Dichtungen, von *Ad. Strodtmann*	1	25
— —		
Amerikan. Anthologie, von *Ad. Strodtmann*	2	—

	M.	Pf.
Italienische Literatur.		
Ariost, Der rasende Roland, v. *J. D. Gries*, 2 Bde.	4	—
Dante, Göttliche Komödie, von *K. Eitner*	2	—
Leopardi, Gedichte, von *R. Hamerling*	1	—
Manzoni, Die Verlobten, von *E. Schröder*, 2 Bde.	3	50
Spanische und portugiesische Literatur.		
Camoëns, Die Lusiaden, von *K. Eitner*	1	25
Cervantes, Don Quijote, von *E. Zoller*, 2 Bde.	4	—
Cid, von *K. Eitner*	1	25
Spanisches Theater, von *Rapp*, *Braunfels* und *Kurz*, 3 Bände	6	50
Französische Literatur.		
Beaumarchais, Figaros Hochzeit, von *Fr. Dingelstedt*	1	—
Chateaubriand, Erzählungen, v. *M. v. Andechs*	1	25
La Bruyère, Die Charaktere, von *K. Eitner*	1	75
Lesage, Der hinkende Teufel, v. *L. Schücking*	1	25
Mérimée, Ausgewählte Novellen, v. *Ad. Laun*	1	25
Molière, Charakter-Komödien, von *Ad. Laun*	1	75
Rabelais, Gargantua, v. *F. A. Gelbcke*, 2 Bde.	5	—
Racine, Ausgew. Tragödien, von *Ad. Laun*	1	50
Rousseau, Ausgewählte Briefe, von *Wiegand*	1	—
— Bekenntnisse, von *L. Schücking*, 2 Bde.	3	50
Saint-Pierre, Erzählungen, von *K. Eitner*	1	—
Sand, Ländliche Erzählungen, v. *Aug. Cornelius*	1	25
Staël, Corinna, von *M. Bock*	2	—
Töpffer, Rosa und Gertrud, von *K. Eitner*	1	25
Skandinavische und russische Literatur.		
Björnson, Bauern-Novellen, von *E. Lobedanz*	1	25
— Dramatische Werke, v. *E. Lobedanz*	2	—
Die Edda, von *H. Gering*	4	—
Holberg, Komödien, von *R. Prutz*, 2 Bände	4	—
Puschkin, Dichtungen, von *F. Löwe*	1	—
Tegnér, Frithjofs-Sage, von *H. Viehoff*	1	—
Orientalische Literatur.		
Kalidasa, Sakuntala, von *E. Meier*	1	—
Morgenländische Anthologie, von *E. Meier*	1	25
Literatur des Altertums.		
Anthologie griechischer u. römischer Lyriker, von *Jakob Mähly*	2	—
Aschylos, Ausgew. Dramen, von *A. Oldenberg*	1	—
Euripides, Ausgewählte Dramen, v. *J. Mähly*	1	50
Homer, Ilias, von *F. W. Ehrenthal*	2	50
— Odyssee, von *F. W. Ehrenthal*	1	50
Sophokles, Tragödien, von *H. Viehoff*	2	50

Wörterbücher.

	M.	Pf.
Orthographisches Wörterbuch der deutschen Sprache, von Dr. ***Konrad Duden.*** *Siebente Auflage.* Gebunden, in Leinwand	1	65
Orthographisches Wörterverzeichnis der deutschen Sprache, von Dr. ***Konrad Duden.*** Gebunden, in Leinwand	—	50
Rechtschreibung der Buchdruckereien deutscher Sprache, unter Mitwirkung des Deutschen Buchdruckervereins, des Reichsverbandes Österreichischer Buchdruckereibesitzer und des Vereins Schweizerischer Buchdruckereibesitzer herausgegeben von Dr. ***Konrad Duden.*** Gebunden, in Leinwand	1	60

Druck vom Bibliographischen Institut in Leipzig.

THIS BOOK IS DUE ON THE LAST DATE
STAMPED BELOW

RENEWED BOOKS ARE SUBJECT TO IMMEDIATE
RECALL

MAR 1 2 1986

LIBRARY, UNIVERSITY OF CALIFORNIA, DAVIS

Book Slip–50m-8,'66(G5530s4)458

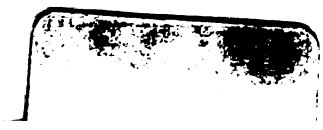
3 1175 00651 9832

Nº 512370

Neumayr, M.
Erdgeschichte.

QE26
N4
1895
v.1

PHYSICAL
SCIENCES
LIBRARY

LIBRARY
UNIVERSITY OF CALIFORNIA
DAVIS

	Call Number:
512370	QE26
Neumayr, M.	N4
Erdgeschichte.	1895
	v.1